

UNIVERSITY OF COPENHAGEN



Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Viden og dokumentation

Ingerslev, Morten; Skov, Simon

Publication date:
2015

Citation for published version (APA):
Ingerslev, M., & Skov, S. (2015). *Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler: Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Viden og dokumentation*. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport



Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler

– Et litteraturstudie under Vinterudvalget

Viden og dokumentation

Morten Ingerslev
Simon Skov

IGN Rapport
November 2015

Titel

Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler
– Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Viden og dokumentation.

Forfattere

Morten Ingerslev og Simon Skov

Bedes citeret

Morten Ingerslev og Simon Skov (2015): Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler – Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 80 s. ill.

Udgiver

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Københavns Universitet
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg C
Tlf. 353 31500
ign@ign.ku.dk
www.ign.ku.dk

Ansvarshavende redaktør

Claus Beier

ISBN

978-87-7903-731-1

Grafisk arbejde

Katrine Hvid Andersen

Publicering

Rapporten er udelukkende publiceret på www.ign.ku.dk

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame.

Forord og læsevejledning

Dette litteraturstudie er udarbejdet for Vinterudvalget. Vinterudvalget nedsatte i 2012 ”Tømiddelgruppen” med det formål at udarbejde forslag til strategi for valg af tømiddel og dosering ved forskellige vejtemperaturer og vejtilstande ud fra de forskellige tømidlers smeltekapacitet, frysepunktstemperatur, miljøpåvirkning og økonomi. Det blev besluttet, at alternative tømidler skulle indgå i arbejdsgruppens arbejde.

Det er fastsat i gruppens kommissorium, at arbejdet skal omfatte tømidlernes miljøpåvirkning. Nærværende rapport udgør dette arbejde.

Denne rapport er et litteraturstudie af traditionelt vejsalt og alternative tømidlers miljøpåvirkning. Undersøgelsen er lavet i forbindelse med Vinterudvalgets (Vejdirektoratet) undersøgelser af mulighederne for at anvende alternative tømidler. De omtalte tømidler er valgt af Vinterudvalget.

Denne rapport omhandler alene stoffernes miljøeffekt. Stoffernes øvrige egenskaber er ikke inddraget.

Der er tidligere lavet en lignende litteraturundersøgelse af Pedersen og Ingerslev (2007). Desuden indeholder Randrup og Pedersen (1996) et omfattende litteraturstudie af traditionel vejsalts effekt på vejnære træer og buske. Den foreliggende undersøgelse tager derfor udgangspunkt i disse to litteraturstudier og udbygger den bagvedliggende litteratur med senere eller yderligere relevant litteratur. Undersøgelsen benytter både primær og sekundær litteratur. Undersøgelsen omfatter tømidlerne: natriumklorid, magnesiumklorid, calciumklorid, calciummagnesiumacetat, kaliumformiat og natriumformiat. Pedersen og Ingerslev (2007) konkluderer, at de af hensyn til miljøet hverken kan anbefale de natriumbaserede alternative tømidler som eksempelvis natriumformiat og natriumacetat eller de kloridbaserede produkter som eksempelvis magnesiumklorid, calciumklorid og kaliumklorid, da de alle vil have negative effekter, som forårsages af hhv. natrium- eller kloridioner i miljøet. De kan heller ikke anbefale anvendelsen af stærkt iltforbrugende glycol eller det kvælstofholdige urea. Af hensyn til Vinterudvalgets undersøgelse af natrium- og kloridbaserede tømidler er disse dog medtaget i denne undersøgelse.

Den mængde litteratur, som omhandler de forskellige tømidlers miljøeffekter, varierer meget fra tømiddel til tømiddel, og der er også stor forskel på, hvilke miljøeffekter, der er blevet undersøgt for de forskellige tømidler. Det er derfor ikke muligt at lave en systematisk sammenligning af de forskellige tømidlers miljøeffekter, på en forsvarlig måde.

Denne rapport sammenfatter de publicerede miljøeffekter af udvalgte tømidler. Der findes på nuværende tidspunkt ikke informationer til at lave en komplet sammenligning. Vi anbefaler, at man i fremtidige studier laver livscyklusanalyser (LCA), der inddrager miljøeffekterne ved fremstilling af tømidlerne, samt alle miljøeffekter i økosystemerne, og desuden inkluderer en

værdisætning af udbedringerne af eventuelle skader. En sådan undersøgelse skal også indeholde håndteringen af eventuelle nødvendige følgeopgaver, som eksempelvis saltskærme mv.

Til sidst i rapporten findes to referencelister. Én, som angiver de referencer, der refereres direkte i denne rapport, og én, som angiver alle de referencer, som er blevet indsamlet i forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport ("Samlet litteratur"). Den sidstnævnte indeholder således også de referencer, der indgår i førstnævnte.

Alle udsagn i rapporten er skrevet efter forfatterens bedste overbevisning, og ud fra de informationer forfatterne har til rådighed. Der tages generelt forbehold for informationer, der ikke har været forfatterne bekendt under skrivningen.

Tabel 1. Der anvendes overvejende kemiske symboler for atomer.

Navn	Bly	Cadmium	Fosfor	Jern
Symbol	Pb	Cd	P	Fe
Navn	Kalcium	Kalium	Klor	Kobber
Symbol	Ca	K	Cl	Cu
Navn	Krom	Kulstof	Kvælstof	Magnesium
Symbol	Cr	C	N	Mg
Navn	Mangan	Natrium	Nikkel	Svovl
Symbol	Mn	Na	Ni	S

Tabel 2. Der anvendes forkortelser for nedenstående stoffer og begreber.

Stof/begreb	Symbol
Kationbytterkapacitet	CEC
Opløst organisk kulstof	DOC
Opløst organisk kvælstof	DON
Iltforbruget ved mikrobiel nedbrydning af organisk materiale	BOD
Konc. af udbyttelig andel af Na i forhold til udbytteligt Ca, Mg, K og Na	ESP
Kalciummagnesiumacetat	CMA
Kaliumformiat	KF
Natriumformiat	NF
Salt/vejsalt	NaCl
Metyl-tert-butylether	MTBE

Bemærk, at ordet "salt" og "vejsalt" bruges om natriumklorid og ikke i ordets kemiske betydning.

Vi vil gerne rette en tak til Vinterudvalget, som har betalt denne litteraturgennemgang. Desuden skal Sissel Geyti have tak for sin indsats med litteratursøgning og -læsning. Sidsel Lotz Jespersen og Katrine Hvid Andersen takkes for korrektur og opsætning.

Indhold

Forord og læsevejledning	3
Indhold	6
Resumé	8
Natriumklorid, NaCl, ”vejsalt”	8
Magnesiumklorid, MgCl ₂	9
Kalciumklorid, CaCl ₂	10
Kalciummagnesiumacetat, CMA, CaMg(CH ₃ CO ₂) ₄	11
Kaliumformiat, KF, KCHO ₂	12
Natriumformiat, NF, NaCHO ₂	13
1. Vejsalt, natriumklorid, NaCl	14
1.1. Jordbunden:	14
1.1.1. Ionbytning	14
1.1.2. Tungmetaller	16
1.1.3. Jordstruktur	16
1.2. Vegetation langs veje	17
1.2.1. Vejsalt skader beplantningerne	18
1.3. Ferskvandskvalitet	24
1.4. Drikkevandskvalitet:	27
1.5. Konklusion:	30
2. Magnesiumklorid, MgCl₂	31
2.1. Jordbunden:	31
2.2. Vegetation langs veje:	31
2.3. Ferskvandskvalitet:	31
2.4. Drikkevandskvalitet:	32
2.5. Konklusion:	32
3. Kalciumklorid, CaCl₂	33
3.1. Jordbunden:	33
3.2. Vegetation langs veje:	33
3.3. Ferskvandskvalitet:	33
3.4. Drikkevandskvalitet:	33
3.5. Konklusion:	33

4. Kalciummagnesiumacetat, CMA, $\text{CaMg}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_4$	34
4.1. Jordbunden:	34
4.2. Vegetation langs veje	35
4.3. Ferskvandskvalitet:	36
4.4. Drikkevandskvalitet:	38
4.5. Konklusion:	38
5. Kaliumformiat, KF, KCHO_2	39
5.1. Jordbunden	39
5.2. Vegetation langs veje	39
5.3. Ferskvandskvalitet	39
5.4. Drikkevandskvalitet	42
5.5. Konklusion:	42
6. Natriumformiat, NF, NaCHO_2	43
6.1. Jordbunden:	43
6.2. Vegetation langs veje	43
6.3. Ferskvandskvalitet	43
6.4. Drikkevandskvalitet	43
6.5. Konklusion	43
7. Konklusion og anbefalinger	44
8. Referencer til rapporten	45
9. Samlet litteratur	59

Resumé

Natriumklorid, NaCl, "vejsalt"

- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Skader på jordens kemi og struktur.
- Trussel mod drikkevandskvaliteten.

Dokumentationen af miljøeffekterne fra vejsalt i Canada har medført, at den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning erklærer, at alle Cl-holdige midler til bekæmpelse af græs er toksiske. Dette er sket ud fra en opfattelse af, at disse midler indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil medføre øjeblikkelige eller langsigtede skader på miljøet.

Jordbunden:

Traditionelt vejsalt hæver koncentrationen af Na og Cl i jordvandet, hvilket efterfølgende påvirker jordens kemiske sammensætning og fysiske forhold. Disse ændringer omfatter ionbytning, udvaskning af stoffer og ændring af jordens struktur (sammenklapning af lerholdige jorde). Når koncentrationen af Na og Cl stiger i jordvæsken, opstår der en uligevægt mellem jordvæskens kemiske sammensætning og jordens ion-husholdning (ionbytterkompleks). Denne uligevægt medfører, at opløst Na fra saltet ionbytter med de kationer, der sidder på jordens ionbytterkompleks. Dette medfører, at koncentrationen af opløste ioner fra jorden frigives og udvaskes.

Vegetation langs vej

Vejsalt kan skade og dræbe planter. Overordnet påvirker saltet planterne både direkte ved, at saltet rammer og skader planternes overjordiske dele og indirekte ved, at saltet ændrer jordbundskemien og jordstrukturen.

Vejsalt kan skade planterne via fire forskellige processer:

- 1) Osmotisk stress (fysiologisk tørke).
- 2) Ernæringsstress (næringsstofmangel og ubalance).
- 3) Direkte giftvirkning (direkte påvirkning af plantens overjordiske dele).
- 4) Jorden klapper sammen og giver vand- og luftstress (dispergering af jordpartikler i lerholdige jorde).

NaCl giver derfor flere forskellige skadesymptomer:

- 1) Udtørring og tørkeskader som følge af dårlig vandhusholdning og hæmmet vandoptag (sammenklappet jord og osmotisk stress).
- 2) Fysiologisk næringsstofmangel eller næringsstofubalance som følge af, at nogle næringsstoffer udvaskes af jorden og ubalance mellem fordelingen af kationer i jordvæsken.
- 3) Reduceret blomstring.
- 4) Reduceret vækst af skud og rødder.
- 5) Tidlig afløvning sidst på sommeren.
- 6) Relativt få blade i kronen.
- 7) Kort skudvækst, der medfører ændret struktur i kronen.

Ferskvandskvalitet

Flere undersøgelser har vist, at vejsalt kan medføre øgede koncentrationer af Na og Cl i ferske vande, der modtager afstrømning fra arealer, der saltes. Vejsaltning kan hæve koncentrationen af Na og Cl i søer, floder og åer ganske betydeligt. Der er observeret koncentrationer over grænseværdien for drikkevand for Cl. Dette koncentrationsniveau er toksisk for mange ferskvandsorganismer.

Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har fastsat grænseværdier for koncentrationen af Cl og Na på hhv. 250 mg Cl/l og 175 mg Na/l i drikkevandet. Vejsalt er uønsket i grundvandet, fordi det påvirker smagen, og kan give anledning til hjertekarsygdomme bl.a. forhøjet blodtryk. Miljøstyrelsen har angivet, at spredning af vejsalt til glatførebekæmpelse er én af fem hovedkilder til grundvandsforurening med NaCl i Danmark.

Magnesiumklorid, $MgCl_2$

- Medfører udvaskning af næringsstoffer.
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer
- Skader ikke jordstrukturen, som vejsalt gør det.

Mængden af litteratur, der belyser effekterne af spredning af magnesiumklorid i miljøet, er stærkt begrænset sammenlignet med den tilsvarende litteratur for eksempelvis NaCl og CMA.

Dokumentationen af miljøeffekterne fra vejsalt i Canada har medført, at den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning erklærer, at alle Cl-holdige midler til bekæmpelse af glatføre er toksiske. Dette er sket ud fra en opfattelse af, at disse midler indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil medføre øjeblikkelige eller langsigtede skader på miljøet.

Jordbunden

$MgCl_2$ minder på mange måder om NaCl, og Cl har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl. Mg-kationer er divalente og har en stærkere binding til jordens ionbytterkompleks end Na. Mg vil derfor, i endnu større grad end Na, ionbytte med andre kationer og derved medføre udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller. Mg har ikke den samme evne som Na, til at få jorden til at klappe sammen.

Vegetation langs vej

Klorid fra $MgCl_2$ og $CaCl_2$ medfører de samme skader på miljøet, som ses ved anvendelse af vejsalt. Direkte kontakt mellem $MgCl_2$ og blade er mere skadeligt for unge træer end eksponering for $MgCl_2$ gennem jorden.

Ferskvandskvalitet

Studier viser, at $MgCl_2$ er mere toksisk for haletudser end NaCl. Forsøg med æg fra salamandere viste, at $MgCl_2$ var lige så toksisk, eller mere toksisk sammenlignet med NaCl.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Mg på 50 mg Mg/l. Endvidere er der på nuværende tidspunkt ikke observeret forhøjede koncentrationer af Mg i drikkevandet, som kan føres tilbage til anvendelsen af tømидlet MgCl_2 .

Kalciumklorid, CaCl_2

- Miljøeffekterne er dårligere undersøgt end for vejsalt
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Medfører mere udvaskning af næringsstoffer fra jorden end vejsalt.
- Skader ikke jordstrukturen, som vejsalt gør det.

Mængden af litteratur, der belyser effekten af CaCl_2 i miljøet, er stærkt begrænset sammenlignet med den tilsvarende litteratur for eksempelvis NaCl og CMA.

Dokumentationen af miljøeffekterne fra vejsalt i Canada har medført, at den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning erklærer, at alle Cl-holdige midler til bekæmpelse af glatføre er toksiske. Dette er sket ud fra en opfattelse af, at disse midler indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil medføre øjeblikkelige eller langsigtede skader på miljøet.

Jordbunden

Med hensyn til de jordbundskemiske effekter, så minder CaCl_2 meget om MgCl_2 . Cl har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl . Den divalente kation af Ca har som Mg-ionen en stærk binding til jorden (ionbytterkomplekset) og kan ionbytte med andre kationer og derved medføre udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller i højere grad end for Na. Ca kan akkumuleres i jorden. Med tiden kan dette føre til geokemiske forbindelser mellem Ca og andre stoffer i jorden, og derved nedsætte plantetilgængeligheden af plantenæringsstofferne. Ca har ikke den samme evne som Na, til at få jorden til at klappe sammen.

Vegetation langs veje

Klorid fra Cl-holdige tømидler som MgCl_2 og CaCl_2 har de samme skadesvirkninger på miljøet, som Cl fra NaCl .

Ferskvandskvalitet:

Der findes ikke specifik litteratur om CaCl_2 , der dækker akvatiske effekter. Vedr. Cl-holdige tømидlers påvirkning af ferskvandskvaliteten, se under NaCl .

Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har ikke fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Ca. Der findes ikke litteratur, der dækker dette emne.

Kalciummagnesiumacetat, CMA, $\text{CaMg}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_4$

- Fører kun i mindre grad til udvaskning af næringsstoffer.
- Forbedrer jordens struktur.
- Risiko for iltsvind i jord og vandmiljø.

Når man sammenligner forskellige tømiddels miljøpåvirkning, så er det vigtigt også at inddrage produktionen i sammenligningen. Det kan gøres ved en livscyklusanalyse. Disse perspektiver medtages ikke her.

Jordbunden

CMA er ofte blevet betragtet som det tømiddel, der medfører den mindste effekt på udvaskningen og fjernelsen af ioner fra jorden. CMA består af Ca, Mg og acetat, som bindes relativt stærkt i jorden sammenlignet med bestanddelene i mange af de øvrige tømidler. CMA har en god effekt på jordens gennemtrængelighed (permeabilitet). Ca og Mg bindes stærkere til jordens ionbyttekompleks end Na. Forsøg har vist, at opløsninger med høje koncentrationer af hhv. NaCl eller CMA mobiliserede mere Cd end opløsningen med lavere koncentrationer. De konkluderer, at Cd mobiliseres og udvaskes gennem kationbytning og ved kompleksdannelse med Cl^- eller acetat. Ved de høje koncentrationer af hhv. NaCl og CMA var udvaskningen af Cd større for CMA end for Cl. CMA kan således øge koncentrationen af metaller i jordvæsken og derfor føre til øget indhold af metaller i grundvand og overfladevand. CMA får ikke jorden til at klappe sammen, tværtimod kan CMA bidrage til at forbedre krummestrukturen og øge permeabiliteten på grund af indholdet af divalente ioner. Acetat kan både nedbrydes i jordbunden og i vandmiljøet. Den mikrobielle nedbrydning kræver ilt og danner CO_2 og vand. CMA kan øge jordens pH gennem stimulering af den mikrobielle aktivitet. Mange undersøgelser peger dog på, at CMA ikke har medført negative effekter på jordbundsforholdene og -kemien.

Vegetation langs veje

CMA kan gavne planters vækst ved at forbedre jord-permeabiliteten og tilføre næringsstofferne Ca og Mg. Der kan være et særligt behov for Ca i områder, hvor vejsaltning har medført, at jorden er klappet sammen. Ved anvendelse af store doser af CMA (2-4 g CMA/kg jord) er der observeret skader på planter. Skaderne opstod pga. osmotisk stress. CMA's effekt på planterne var mindre på leret jord end sandjord, formodentligt pga. ionbytning og nedbrydning af acetat. Mange undersøgelser fastslår, at CMA er mindre skadeligt overfor beplantninger end NaCl.

Ferskvandskvalitet:

CMA indeholder acetat, som er en organisk anion, der kan nedbrydes i akvatiske miljø under forbrug af ilt. Brugen af CMA kan føre til iltmangel i det akvatiske miljø. Denne problemstilling er i litteraturen blevet fremhævet som et af de største miljømæssige problemer ved anvendelsen af CMA. Der er udført en del forsøg for at afdække, hvorvidt anvendelsen af CMA fører til iltmangel i de ferske recipienter, men resultaterne er ikke entydige. Det anbefales at være forsigtig med anvendelsen af CMA nær vådområder, som har en dårlig gennemstrømning, og hvor der er risiko for større afstrømning af tømidler direkte til vandmiljøet.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Mg på 50 mg Mg/l. Der findes ingen grænse for Ca. CMA vil under normale omstændigheder sjældent eller ikke påvirke grundvandsressourcen. Denne vurdering beror på, at der er tale om letomsættelige organiske stoffer, som ofte ses i biologiske stofskifteprocesser. Det vurderes derfor, at CMA bliver fuldstændigt omsat i jordens øverste lag. Finske studie peger dog på, at nedrivningen af ikke-nedbrudt CMA til dybere jordlag kan være betydelig, og at man skal undgå at anvende CMA nær overfladenære grundvandsmagasiner.

Kaliumformiat, KF, KCHO₂

- Formiat nedbrydes hurtigt i jorden.
- Mindre skade på planter end NaCl.
- Risikoen for at KF giver iltsvind i ferskvand er lille.

Jordbunden

K er et næringsstof, som bindes mindre kraftigt til ionbytterkomplekset end Mg og Ca, men stærkere end Na. Formiat er en mindre anion end acetat, og derfor nedbrydes formiat ofte hurtigere og under et mindre iltforbrug end acetat. Den mikrobielle nedbrydning af KF kan hæve pH i jorden. Efter 3 års brug af KF på en hovedvej i Finland blev der ikke fundet rester af hverken formiat eller K i grundvandet. Undersøgelsen pegede også på, at formiat blev hurtigt biologisk nedbrudt af bakterier selv ved temperaturer tæt på 0°C. Dette ved både aerobisk og anaerobisk nedbrydning. Nedbrydningen var størst, når indholdet af organisk stof var højt (>5 %). En dansk undersøgelse viste, at formiat, der tilføres som kaliumformiat, er tilstede i jordvandet lige under rodzonen i så lav koncentration, at det ligger under detektionsgrænsen på 0,1 mg/liter. Det blev konkluderet, at formiat omsættes effektivt i jorden.

Vegetation langs veje

Forsøg viser, at fem spredninger med en samlet tilførsel af KF på 3,4 kg/m² kan have en skadelig effekt på planter. Lave koncentrationer af formiat kan stimulere træers skudvækst, men formiat kan samtidig hæmme rodforlængelse, da rodvækst er mere sensitiv overfor formiat end skudvækst. I en dansk undersøgelse af tømидlers effekt på træernes vækst og sundhed pegede resultaterne på, at KF er mindre skadelig for træerne end NaCl.

Ferskvandskvalitet

Formiat fra KF nedbrydes ofte hurtigt i jord og vandige miljøer, så effekten er relativt lille.

Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af K på 10 mg K/l. Den samlede daglige menneskelige indtagelse af kalium fra kosten ligger mellem 2000 og 6000 mg, hvorfor indtagelsen gennem drikkevand som regel er uden helbredsmæssig betydning. Finske undersøgelser peger på, at KF er et effektivt tømiddel, som kan anvendes til at mindske vinter-

vedligeholdelsens negative påvirkning af grundvandsressourcerne. Andre undersøgelser peger i modsat retning.

Natriumformiat, NF, NaCHO_2

- Miljøeffekten er ikke beskrevet.
- Formodentlig en blanding af effekten fra Na og formiat.

Litteraturen er yderst begrænset mht. dette stofs miljømæssige effekter. Effekten af Na er gennemgået under NaCl og effekten af formiat er gennemgået under KF

1. Vejsalt, natriumklorid, NaCl

Dokumentationen af miljøeffekterne fra vejsalt i Canada Environmental Protection Act (2001) har medført, at den canadiske miljøbeskyttelseslovgivning har erklæret, at alle Cl-holdige kemiske midler til bekæmpelse af glatføre er toksiske. Dette er sket på baggrund af rapportens konklusion om, at Cl-baseret vejsalt indtræder i miljøet i mængder eller koncentrationer, der vil have øjeblikkelige eller langsigtede skadelige virkninger på miljøet eller på den biologiske diversitet eller vil udgøre en fare for det miljø, som vores liv afhænger af. Canada Environmental Protection Act (2001) og Fischel (2001) fastslår dog også, at vejsalt er et vigtigt tømiddel i glatførebekæmpelsen, og at der ikke må gås på kompromis med sikkerheden.

1.1. Jordbunden:

Traditionelt vejsalt hæver koncentrationen af Na og Cl i jordvandet, hvilket efterfølgende påvirker jordens kemiske sammensætning og fysiske forhold. Disse ændringer omfatter ionbytning, udvaskning af stoffer og ændring af jordens struktur (Pedersen og Ingerslev, 2007; Oberts et al, 2000; Randrup og Pedersen, 1998; Bäckman og Folkeson, 1995; Brod, 1993 og 1989; Dragsted, 1979 og 1973; Westing, 1969; Prior og Berthouex, 1967).

1.1.1. Ionbytning

Når koncentrationen af Na og Cl stiger i jordvæsken, opstår der en uligevægt mellem jordvæskens kemiske sammensætning og stofkoncentrationen på jordens ionbytterkompleks. Denne uligevægt medfører ionbytning, hvor opløst Na fra saltet ionbytter med de kationer, der sidder på jordens ionbytterkompleks. Dette medfører, at koncentrationen af opløste ioner fra ionbytterkomplekset i jordvandet stiger, indtil en ny ligevægt er etableret (Ingerslev et al., 2013; Environment Canada, 2010; Pedersen og Ingerslev, 2007; Ramakrishna og Viraraghavan, 2005; Randrup og Pedersen, 1998; Bäckman og Folkeson, 1995; Brod, 1993 og 1989; Dragsted, 1973, 1979 og 1988; Prior og Berthouex, 1967). Ved denne ionbytning stiger koncentrationen af Na på jordens ionbytterkomplekset samtidig med, at koncentrationen af andre kationer falder (eksempelvis: K, Ca, Mg, Al, Fe, Zn, H, NH₄ mfl.).

I starten påvirkes kun den øverste del af jorden, men hvis koncentrationen af Na og Cl forbliver relativt høj i det nedsivende jordvand, vil ionbytningen fortsætte i en zone, der med tiden bevæger sig nedefter i jorden (Pedersen og Ingerslev, 2007). Bäckman og Folkeson (1995) undersøgte fordelingen af vejsalt ned igennem jordprofilen ved to motorveje i Sverige, hhv. E20 og E48, og fandt, at koncentrationen af Na og Cl var betydeligt forhøjet ned til en dybde på 165 cm tættest på vejene. Tilførslen af NaCl kan således medføre

mobilisering og udvaskning af en betydelig mængde kationer, og hermed næringsstoffer (Pedersen *et al.*, 2003; Brod, 1989). I denne forbindelse er det ofte det mobile Cl, der er anion for de udvaskede kationer (Sucoff, 1975). Brod (1993) peger på, at det kan være nødvendigt at gøde jorden for at modvirke udvaskningen af næringsstoffer og sikre jordens fortsatte evne som vækstmedium for planter. Gødskning kan dog være med til at forøge ionstyrken i jordvæsken og derved mindske det osmotiske potentiale i jorden yderligere (Brod, 1989). Dette kan medføre tørkestress hos planter og mikroorganismer. Effekten af NaCl-spredning, og spredning af øvrige tømidler, er generelt størst tættest på vejkannten (Pedersen *et al.*, 2003a, b og 2001a; Pedersen *et al.*, 2000a og b; Fischel, 2001; Gjelstrup, 1992).

Pedersen, Randrup, Ingerslev og Krag (2000a og b og 2001) viste, at koncentrationen af Na og Cl er væsentligt forøget i jorden tæt på vejene i Københavns og Frederiksborg Amt, som følge af den intensive vejsaltning i vinterhalvåret. Disse undersøgelser viser også, at Na- og Cl-koncentrationen er stærkt afhængig af afstand til vejkannten. I en afstand på 2-3 m fra vejkannten, er koncentrationen af Na og Cl betydeligt lavere, end den der måles tæt på vejkannten. Vækstbetingelserne for planterne er således bedre, når afstanden til vejkannten forøges (Pedersen *et al.*, 2003a, b og 2001a; Pedersen *et al.*, 2000a og b).

I en dansk undersøgelse af en juletræsbevoksning, der var beliggende op til en motorvej, kunne man måle forhøjede koncentrationer af Na og Cl i jorden og træernes nåle i en afstand helt op til 40 m fra motorvejskannten, forårsaget af vejsaltningen (Pedersen og Christensen, 1999). Pedersen, Randrup, Ingerslev og Krag (2000a og b og 2001a) viser, at vejsaltet ikke umiddelbart udvaskes fra jorden i sommerhalvåret, men at vejsaltet og effekterne af vejsaltet akkumuleres i vejsidens jord. Fay og Shi (2012) beskriver i en litteraturundersøgelse, hvordan spredningen af NaCl er afhængig af trafikintensiteten og -hastigheden samt vindhastigheden. Der er således observeret spredning af vejsalt op til 152 m fra motorveje (Transportation Research Board, 1991). Ionbytningsprocesserne medfører ofte, at pH hæves og kan i visse tilfælde medføre, at tilgængeligheden af visse næringsstoffer (eksempelvis Mn) sænkes (Czerniawska-Kusza *et al.*, 2004; Pedersen og Randrup, 1996; Brod, 1993).

I Opole-området i Polen er der sket en stigning i jordens pH med stigende saltindhold, som følge af vejsaltning (Czerniawska-Kusza, *et al.*, 2004). Mavi *et al.* (2012a og b) undersøgte sammenhængen mellem DOC-binding og saltindholdet i forskellige jorde. De fandt, at DOC-bindingen i saltholdige jorde ikke var påvirket af lerindholdet, men i stedet var påvirket af CEC (cation exchange capacity), Fe- og Al-koncentrationen i jorden. Tab af DOC fra NaCl-holdige jorde er lavere end fra jorde, der kun indeholder Na i høje koncentrationer. Det skyldes, at høje elektrolytkoncentrationer medfører kationbrodannelse, som tilbageholder DOC. Højt lerindhold og stigende elektrolyt-

koncentration vil medføre, at organisk materiale bliver mindre tilgængeligt og dermed sværere at nedbryde for mikroorganismer i saltpåvirkede jorde. Forsøget viste også, at øget salinitet mindsker den mikrobiel aktivitet i jord, på grund af nedsat osmotisk potentiale i jorden. Den nedsatte mikrobielle aktivitet medfører øget DOC og DON på grund af den nedsatte nedbrydning af organisk materiale.

Akkumulering af salte i jorde i byområder kan føre til ændringer i økologiske strukturer i jordorganismernes samfund og dermed øge populationsdensiteten af salttolerante arter (*Galuszka et al., 2011*).

1.1.2. Tungmetaller

Som beskrevet i ovenstående medfører tilførslen af NaCl ionbytning og udvaskning af især kationer, og dette omfatter også tungmetaller (*Amrhein et al., 1992*). Vejsaltning kan således øge udvaskningen af tungmetaller som eksempelvis Cr, Pb, Ni, Cd og Cu. Herved sænkes koncentrationen af disse tungmetaller samtidig i vejsidens jord. De vejnære jorde er i forvejen forurenet med tungmetaller fra benzinformbrændingen m.m. (*Amrhein et al., 1992*). Den mængde Cl, som tilføres ved vejsaltningen, er med til at udvaske tungmetallerne, idet Cl er relativt mobilt i jorden og derfor kan virke som tungmetallernes modion (*Fay og Shi, 2012; Sucoff, 1975*). Bauske og Goetz (1993) gør rede for et toårigt feltstudie, hvor vejsidejord blev indsamlet og analyseret. Resultatet viste stigende værdier i indhold af tømiddel, men også høje zink og cadmium værdier om vinteren og i foråret. Ionbytning og dannelsen af Cl-komplekser blev vurderet som mekanismen bag de forhøjede værdier.

1.1.3. Jordstruktur

Jordens struktur kan ændres som følge af spredning af NaCl. Det er specielt lerindhold i jorden, som er bestemmende for, om saltningen påvirker jordens struktur. Ved et stigende lerindhold øges effekten af NaCl på jordstrukturen (*Brod, 1989; Bäckman og Folkesson, 1995; Transportation Research Board, 1991; Westing, 1969*). I den lerede jord er indholdet af Ca- og Mg-ionerne med til at give jorden krummestruktur og dermed luft- og vandholdige porer mellem ler- og jordpartiklerne. Når koncentrationen af Na-ionerne stiger, sænkes koncentrationen af de øvrige ioner i jorden. Dette medfører, at lerholdige jorde kan miste krummestrukturen. Dette fænomen er ofte omtalt i litteraturen som, at ”jorden klapper sammen”.

Det er to processer, som bevirker, at saltning kan få lerholdige jorde til at klappe sammen:

- 1) Når Ca-koncentrationen falder, mister jorden evnen til at opretholde en krummestruktur.

- 2) Na-ionerne er omgivet en vandkappe, der får jordpartiklerne til at dispergere (flyde sammen).

Når jorden klapper sammen, forsvinder de vand- og luftfyldte porer, og jordens evne til at transportere vand og luft formindskes væsentligt, hvilket igen forringer jordens kvalitet som vækstmedium for planter (*Trahan og Peterson, 2007; Bäckman og Folkesson 1995; Transportation Research Board, 1991; Brod, 1989; Westing, 1969*).

1.2. Vegetation langs veje

De saltskader, der observeres på vejbeplantninger, er ofte ganske tydelige. Hvilke skader, der opstår på beplantninger langs veje som følge af brug af vejsalt, afhænger ofte af den givne planteart (*Bernstein et al., 1972*).

I løbet af de seneste 60 år er der publiceret en række undersøgelser af, hvorledes vejsalt kan skade vejbeplantninger (hovedsagelig træer), ligesom der er lavet lister over diverse arters følsomhed for vejsalt (*Berkheimer og Hanson, 2006; Bryson og Baker, 2002; Pedersen et al., 1999a og b; Randrup og Pedersen, 1998 og 1996; Gibbs, 1994; Brod, 1993; Dobson, 1991; Leh, 1990; Bogemans et al., 1989; Fleck et al., 1988; Balder og Nierste, 1987; Dragsted 1988, 1979 og 1973; Townshend og Kwolek 1987; Hasselkus og Rideout, 1979; Hofstra et al., 1979; Hanes et al., 1976 og 1970; Socoff et al., 1976; Hofstra og Lumis, 1975; Hall et al., 1973 og 1972; Hedvard, 1972; Sucoff, 1972; Davidson, 1971; Hofstra og Hall, 1971; Ruge, 1971; Zelazny et al., 1970; Westing, 1969; Ruge og Starch, 1968; Prior og Berthouex, 1967; Holmes og Baker, 1966; French, 1959*).

Uddrag af disse undersøgelser, samt beskrivelse af skadesymptomer og årsager, er også publiceret på dansk (*Pedersen og Krag, 2005; Pedersen, 2004; Pedersen et al., 2003a og b; Pedersen et al., 2001a og b; 2000a og b; Pedersen og Ingerslev, 2000; Saxe et al., 2000; Pedersen et al., 1999a og b; Pedersen og Christensen, 1999; Randrup og Pedersen, 1999; Randrup og Pedersen, 1997 og Randrup og Pedersen, 1996*).

Anbefalinger til, hvordan man kan undgå skader fra vejsalt på vejbeplantningerne, er publiceret på dansk (*Pedersen og Knudsen, 2006; Pedersen og Holgersen, 2006; Borup et al., 2005; Pedersen, 2004; Randrup og Pedersen, 1999a og b og Jaquet et al., 1998*). Anbefalingerne omfatter en øget afstand mellem planter og vejkant, hævede rabatter samt anvendelsen af saltværn, og hvorledes saltværn skal opstilles for at sikre en tilstrækkelig virkning. Disse tiltags effektivitet er dokumenteret i denne litteratur.

I Danmark er det således især Lars Bo Pedersen, Thomas Randrup og Jens Dragsted, der har bidraget med undersøgelser, der har vist, hvordan vejsaltningen skader beplantningerne langs de danske veje.

Som angivet i ovenstående, er der en tydelig sammenhæng mellem afstanden til vejkanthen og den mængde vejsalt, som påvirker et givent areal. Derfor observerer man også de kraftigste skader på de beplantningerne, der står tættest på vejkanthen. Transportation Research Board (1991) og D'Ltri (1992) angiver, at vejsalt er årsagen til skader og plantedød på 5-10 % af træerne i op til 30 meters afstand fra vejkanthen. Randrup og Pedersen (1996) laver et litteraturstudie af, hvordan vejsalt spredes og skader vejnære træer og buske, og de finder undersøgelser, der rapporterer om skader i en afstand på op til 200 m fra vejkanthen.

I Danmark er der udført en del undersøgelser af, hvordan skader på beplantninger er afhængig af afstanden til vejkanthen, samt hvordan trafikintensiteten også påvirker spredningsmønstret af vejsalt i det omgivende miljø, og dermed hvor langt fra vejkanthen, der kan opstå skader forårsaget af vejsalt. Pedersen et al. (2000a og b), Pedersen et al. (2001c), Pedersen (2004) og Pedersen og Knudsen (2006) dokumenterer hovedparten af disse undersøgelser og viser, at vejsaltningens skadesvirkning på beplantningerne er stærkt reduceret ved en afstand til vejkanthen på 3-4 meter ved trafikerede gader i byen. Hvorimod der ved en motorvej er observeret tydelige saltskader på en juletræsbevoksning i en afstand på op til 40 m fra vejkanthen (*Pedersen og Christensen, 1999*). Danske undersøgelser om virkningen af både afstanden mellem vejtræ og vej samt saltværn, er beskrevet internationalt (*Pedersen et al., 2000a*).

1.2.1. Vejsalt skader beplantningerne

Vejsalt kan skade og dræbe planter. Overordnet påvirker saltet planterne, både direkte ved at saltet rammer og skader planternes overjordiske dele, og indirekte ved at saltet ændrer jordbundskemien og jordstrukturen (*Randrup og Pedersen, 1996*). Vejsalt kan skade planterne via fire forskellige processer (*Fay og Shi, 2012; Pedersen og Ingerslev, 2007; Randrup og Pedersen, 1997 og 1996; Brod, 1993*):

- 1) Osmotisk stress (fysiologisk tørke).
- 2) Ernæringsstress (næringsstofmangel og ubalance).
- 3) Stress fra direkte giftvirkning (direkte påvirkning af plantens overjordiske dele).
- 4) Jorden klapper sammen og giver vand og luftstress (dispergering af jordpartikler i lerholdige jorde).

Som nævnt i ovenstående, skader NaCl planterne på flere forskellige måder og giver derfor flere forskellige skadesymptomer:

- 1) Udtørring og tørkeskader som følge af dårlig vandhusholdning og hæmmet vandoptag (osmotisk stress og sammenklappet jord).

- 2) Fysiologisk næringsstofmangel eller næringsstof-ubalance som følge af, at nogle næringsstoffer er udvasket af jorden eller ubalance mellem fordelingen af kationer i jordvæsken.
- 3) Reduceret blomstring.
- 4) Reduceret vækst af skud og rødder.
- 5) Tidlig afløvning sidst på sommeren.
- 6) Relativt få blade i kronen.
- 7) Trækronen kan komme til at ligne en heksekost som følge af den korte skudvækst (*Fay og Shi, 2012; Pedersen og Ingerslev, 2007; Fisschel, 2001; Randrup og Pedersen, 1996; Hanes, 1976 og 1970*).

Forskellige planter reagerer forskelligt på spredning af NaCl. Således har de forskellige planter ikke den samme tolerance for saltpåvirkning. Denne forskel i salttolerance har medført, at de mere salttolerante arter helt naturligt har fundet frem til de vejnære danske økosystemer, hvor de kan trives med den øgede saltpåvirkning (*Randrup og Pedersen, 1996; Gjelstrup, 1992*). Lignende ændringer i plantesamfundet nær vejene som følge af saltspredning er også observeret i USA, Canada og Tyskland (*Canadian Environmental Protection Act, 2001; Brod, 1993*). Det samspil, der er mellem rødderne og mychorrhiza-svampe, spiller en rolle for planternes salttolerance. Mychorrhiza-svampe kan således være med til at forbedre planteoptaget af vand, P og muligvis også K. Endvidere kan mychorrhiza-svampene være med til at nedsætte planteoptaget af Na og Cl (*Mavi og Marschner, 2012; Weissenhorn, 2002*).

Box om vejsalts effekt på planter.

Osmotisk stress

Ved salttilførsel stiger koncentrationen af ioner i jordvæsken omkring planterødderne. Herved sænkes vandpotentialet i jorden i forhold til i roden. Vandet i rødderne vil derfor søge ud i jorden for at fortynde saltopløsningen i jordvæsken, så der opstår en ligevægt mellem hhv. rodens og jordens koncentration af salte (ligevægt mellem rodens og væskens osmotiske potentiale). Planten oplever det osmotiske stress som en tørkesituation, hvor planten skal bruge store mængder energi for at optage vand igennem rødderne imod det osmotiske potentiale. Planten har derfor svært ved at opretholde en sund vandhusholdning og kan tørre ud (*Mavi et al., 2012a, b, og c; Trahan og Peterson, 2007; Czerniawska-Kusza et al., 2004; Brod, 1993, Lewitt, 1972*).

Box om vejsalts effekt på planter fortsat..

Ernæringsstress

Saltning kan føre til næringsstof-ubalance eller egentlig mangel. Na-ioner fra vejsaltning kan ionbytte med andre næringsstoffer eksempelvis K, Ca, Mg, Fe, Mn og NH₄. Disse næringsstoffer kan efterfølgende blive udvasket fra rodzonen, og egentlig mangel på disse kan opstå (Randrup og Pedersen, 1996; Brod, 1993). Plantetilgængeligheden af forskellige næringsstoffer kan afhænge af jordens pH. Ved ionbytning og udvaskning af H-ioner kan jordvandets pH stige til et niveau, hvor plantetilgængeligheden af et eller flere næringsstoffer bliver kritisk lav, og næringsstofmangel kan indtræde, eks. mangel på Mn og Fe (Czerniawska-Kusza et al., 2004; Randrup og Pedersen, 1996; Brod, 1993). Hvis koncentrationen af et næringsstof er relativt højt i jordvandet i forhold til koncentrationen af et andet kan der opstå næringsstof-ubalance i planten og evt. egentlig mangel. Årsagen er, at ioner, der "ligner" hinanden, kan undertrykke plantens muligheder for at optage den ion, som har den laveste koncentration (Randrup og Pedersen, 1996; Lewitt, 1972). Man kan sige, at der er konkurrence mellem forskellige næringsstoffer i selve næringsoptagelsen i planten. Store mængder Na kan således føre til mangel på K (Prior og Berthouex, 1967; Westing, 1996), mens store mængder Cl kan føre til mangel på N og P (Lewitt, 1972). Høje koncentrationer af Cl i jordvæsken kan på denne måde medføre nedsat vækst og forringet plantevitalitet på grund af induceret N-mangel (Randrup og Pedersen, 1996; Westing, 1969).

Stress fra direkte giftvirkning

Når NaCl rammer de overjordiske plantedele, kan der opstå en egentlig giftvirkning, hvis koncentrationen af Na og Cl bliver tilstrækkelig høj på planteoverfladen (Brod, 1993). Årsagen til denne forgiftning er bl.a., at saltet påvirker plantecellernes membranfunktion og stofskifte ved at reducere enzym-aktiviteten (Weissenhorn, 2002). I denne forbindelse er det specielt Cl, der medfører giftvirkningen, mens effekten af Na anses for at være mindre giftig (Lewitt, 1972).

Jorden klapper sammen og giver vand- og luftstress

Når jorden klapper sammen forsvinder de vand- og luftfyldte porer, og jordens evne til at transportere vand og luft formindskes væsentligt, hvilket igen forringer jordens kvalitet som vækstmedium for planter (Trahan og Peterson, 2007; Bäckman og Folkesson, 1995; Brod, 1989; Transportation Research Board, 1991; Westing, 1969). Endvidere kan denne jordstrukturændring skade planterøddernes symbiotiske forhold til mycorrhiza-svampe (Dixon et al., 1993).

Box om sammenfattede konklusioner fra danske undersøgelser om vejsalt.

Pedersen og Ingerslev (2007) sammenfatter konklusionerne fra de danske undersøgelser således:

1. Vejsalt er sandsynligvis den stressfaktor, der har størst negativ indflydelse på vej- og bytræers trivsel i Danmark og i særdeleshed i byer.
2. På motorveje kan der ske skader som følge af brug af vejsalt op til 40 m fra vejkanterne.
3. I rabatter i byens gader og veje falder saltbelastningen (tilførsel og koncentration i jordvæske) markant de første par meter væk fra vejkanterne.
4. Omkring 25 % af det spredte vejsalt havner på den ene eller anden måde i jorden nær gader og veje.
5. Hævede midterrabatter er normalt en fornuftig konstruktion, der begrænser stress fra vejsalt, men virkningen afhænger til dels af den enkelte lokalitets trafikforhold og af selve konstruktionen.
6. Saltkoncentrationerne i den jordvæske, som træerne ernærer sig fra, stiger ofte i vækstperioden, som følge af manglende udvaskning og øget vandfordampning.
7. Saltkoncentrationerne i den jordvæske, som træerne ernærer sig fra, nærmer sig i spidssituationer på belastede vejstrækninger det niveau, der ses i havvandet i Øresund.
8. Det nytter at opstille saltværn, så længe det gøres rigtigt. Saltværnene skal så vidt muligt placeres hele vejen rundt om træerne og langs hele længden af vejrabatterne uden afbrydelser.
9. Saltværn i form af de typiske kegler virker ikke på ubefæstede arealer, snarere tværtimod.
10. Jordens pH i rabatjorde er ofte alt for høj. Årsagen er dels, at udgangsmaterialet har en pH-værdi, der er i overkanten af det optimale for trævækst, dels at også forvitringen af basiske materialer i vejbelægningen giver anledning til stærkt forhøjet deposition af basiske stoffer til rabatjorde.
11. Det er normalt, at danske gade- og vejtræer lider af akut mangel på Mn. Ofte kan der også konstateres mangel på P og endvidere mangel på Mg, formodentlig induceret af for stor tilførsel af K fra vejbanerne.
12. Juletræer plantet tæt ved motorveje har stor risiko for at få svidningsskader, som følge af vejsalt, der enten blæser eller løber af vejen.

Overjordiske skader skyldes ofte afsætning af salt direkte på plantedelene, men kan også skyldes Na eller Cl, der er optaget gennem rødderne (*Randrup og Pedersen, 1996*). Saltsprøjt på knopperne forsinker normalt udspringet, men det modsatte er også blevet observeret i danske undersøgelser (*Paludan-Müller et al., 2002*). De stedsegrønne arter har en større overflade, der kan fange saltsprøjt, og samtidig er blade og nåle blandt de plantedele, som er mest følsomme for saltsprøjt. Derfor er de stedsegrønne træer, på grund af deres helårige beløvning, mere udsatte for saltskader end de løvfældende arter (*Randrup og Pedersen, 1996*). Egentlige skader forårsaget af direkte saltsprøjt på plantens overjordiske dele observeres oftere på vejtræer uden for byerne, mens det i større udstrækning er skader som følge af den øgede koncentration af Na og Cl i jordbunden, som giver anledning til skader på bytræer (*Pedersen og Ingerslev, 2007; Randrup og Pedersen, 1996; Dobson, 1991; Brod, 1989; Sucoff, 1975; Hanes et al., 1970 og 1976*).

Pedersen og Ingerslev (2007) opstiller på baggrund af Dobson (1991) og Randrup og Pedersen (1997) en tabel over symptomerne, som her er gengivet i Tabel 3. Skadesymptomer fra vejsalt gengivet efter Pedersen og Ingerslev (2007), som har opstillet den på baggrund af Dobson (1991) og Randrup og Pedersen (1997). Symptomerne på skader fra vejsalt er forholdsvis klare, omend de i forbindelse med osmotisk stress kan forveksles med tørke. Den mest almindelige saltskade er en vækstreduktion, som i starten er lille og derfor svær at erkende. Først når planterne har været saltstresset i længere tid, bliver reduktionen særligt tydelig og kan let erkendes i form af en ”tynd” krone. I værste fald fører saltstress til plantedød.

Tabel 3. Vejsalt skader både løv- og nåletræer. Skaderne opstår dels via direkte saltsprøjt, dels via optag fra jorden.

	Saltsprøjt	Skader via jord
Løvtræer	<ul style="list-style-type: none"> • Tilbagevisnen af forrige års grenvækst. Virkningen starter fra grenspidsen. • Knopdød pga. af indtrængende salt imellem knopskæl. • Barkudtørring på unge træer som følge af indtrængende salt i vækstlaget under barken. • Udspring af sovende knopper som følge af topknoppers død. • Forsinkelse af løvspring på op til 1 måned. • Reduceret vækst. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nekroser på blade, som starter som gulfarvning der efterhånden brunfarves. Nekroserne spredes ind imellem bladvenerne og følges af en krøllet bladrand. • Mindsket bladantal og -størrelse. • Tilbagevisnen af kviste. • Fremskyndet løvfald. • Reduceret vækst.
Nåletræer	<ul style="list-style-type: none"> • Nålesvidning starter i skudspidsen med gulning, der går over i brun- og rødfarvning for til sidst at blive nekrotisk. • Nekroser på nåle, der det foregående år var brunfarvede i nålespidsen. • Fremskyndet nåletab. • Reduceret vækst. 	<ul style="list-style-type: none"> • Knopdød • Forsinkelse af udspring på op til 1 måned. • Gul-, brun- og rødfarvning af nåle. • Misfarvning af unge nåle. • Fremskyndet nåletab. • Reduceret vækst.

Berkheimer og Hanson (2006) sammenfatter undersøgelser af saltskader og frosttolerance og konkluderer, at effekter af saltsprøjt på vejsidetræer (woody plants) omfatter reduceret modstandskraft mod frostskader i trævævet. I samme undersøgelse finder man, at skader forårsaget af salt i jorden er begrænset til planter indenfor 5 m fra veje og kan resultere i blad-chlorosis, reduceret fotosyntese (som varer ved den efterfølgende sæson) og plantedød. I denne undersøgelse finder man også en sammenhæng mellem næringsstofubalance og akkumulering af Na og Cl i plantevævet.

Fay og Shi (2012) sammenstiller i et litteraturreview skader på beplantninger og koncentrationen af Na og Cl i jorden. Langs vejsider finder de, at NaCl resulterer i grendød hos løvtræer og brune nåle hos grantræer. Buske og græsser tolererer forøgede NaCl-koncentrationer bedre end træer. NaCl-koncentrationer i jorden på 0,5 % til 2 % (tørvægt) har vist sig at medføre misfarvning af bladene, bladtab og plantedød. Cl-ioner er mere skadelige for planter end Na-ioner ved direkte saltsprøjt (*Transportation Research Board, 1991*).

Galuszka et al. (2011) viser, at høje koncentrationer af Cl og Na inhiberer cellemembranfunktionerne hos planter og resulterer i osmotisk stress og celleplasmolyse, samt mindsker klorofylkoncentrationen, og medfører således en hæmning af fotosyntesen. Høje koncentrationer af NaCl i jord med meget organisk materiale giver et mindre optag af Na og Cl, sammenlignet med jorde med et mindre indhold af organisk materiale (*Hanslin, H.M., 2011; Munns og Tester, 2008; Shannon, 1997*). I vedplanter er optaget af Na sædvanligvis mere effektivt kontrolleret end optaget af Cl (*Shannon, 1997; Munns og Tester, 2008*).

Både Na og Cl akkumuleres i blade, og koncentrationen stiger mere i ældre blade end i yngre, koncentrationen "fortyndes" sandsynligvis ikke af væksten. Både Na og Cl har toksiske effekter på planter, når de akkumuleres i blade, men særligt i vedplanter ses større sensitivitet overfor Cl. Dermed er der ofte større synlig skade ved Cl-akkumulering sammenlignet med Na-akkumulering (*Shannon et al, 1994; Munns og Tester, 2008*).

I mange planter er rodvækst mere sensitiv overfor salinitet end skudvækst (*Bernstein og Kafafi, 2002; Munns, 2002*), men det modsatte er fundet hos visse træer (*Bernstein et al., 2004*). Sieghardt et al. (2005) fastslår, at træer i byområder er mere sårbare overfor saltning, da de ofte er udsat for stress i forvejen i form af pladsmangel, kompakt substrat osv. Mavi og Marschner (2012) sammenstiller studier af saltstress og mikrobiel aktivitet i jorden og finder, at en stigning i saltkoncentrationen i jorden resulterer i mindsket osmotisk potentiale (*Harris, 1980*), hvilket reducerer vandoptag hos planter og mikrober. Andre stressfaktorer inkluderer høj pH og reduceret næringsoptag pga. konkurrence om ionoptaget (*Keren, 2000*). Disse ændringer har også en negativ effekt på størrelsen og aktiviteten af biokemiske processer og dermed

den mikrobielle biomasse i jorden (*Yuan et al., 2007; Tripathi et al., 2006; Rietz og Haynes, 2003*).

Der er i litteraturen angivet, at man kan bedre saltbelastede jorde og planter ved vanding (*Dragsted, 1985*) og tilførsel af gips (*Harris, 1992*) og/eller langsomt opløselig gødning (*Dobson, 1990*). Der er dog ikke enighed om disse virkemidler (*Bradshaw, 1995*).

1.3. Ferskvandskvalitet

Flere undersøgelser har vist, at vejsaltning kan medføre forøgede koncentrationer af Na og Cl i ferske recipienter. (*Fay og Shi, 2012; Kristiansen et al., 2009; Vosylienė, 2006; Escherri, 2006; Albright, 2005; Chang og Carlson, 2005; Jackson og Jobaggy, 2005; Kaushal et al., 2005; Ramakrishna og Viraraghavan, 2005; Foos, 2003; Blasius og Merritt, 2002; Canada Environmental Protection act, 2001; Chadwick og Feminella, 2001; Godwin et al., Gontier, 2001; 2001; Koryak et al., 2001; Williams et al., 2000; Mason et al., 1999; Forman og Alexander, Novotny et al., 1999; 1998; Demers, 1992; D'Itri, 1992; Höbel et al., 1992; Demers og Sage, 1990; Wilcox, 1986*).

Canada Environmental Protection act (2001) giver et godt overblik over, hvordan vejsaltning har hævet koncentrationen af Na og Cl i søer, floder og åer i USA og Canada. Vejsaltningen kan hæve koncentrationen ganske betydeligt i de ferske recipienter. Således fandt Demers og Sage (1990) og Demers (1992), at vejsaltningen kan hæve saltkoncentrationen i de undersøgte åer med en faktor 30 i Canada. Williams et al. (2000) observerede hyppige Cl-koncentrationer på over 1000 mg/l i Canadiske vandløb som følge af brugen af vejsalt i Ontario-området. I nogle studier er koncentrationen af salt i ferske recipienter blevet fulgt over lange tidsperioder på mere end 30 år, og de viser, at koncentrationen har været stigende og kan nå den grænse for drikkevand, som en del lande har sat mht. Cl-koncentrationen på 250 mg/l (*Jackson og Jobaggy, 2005; Kaushal et al., 2005*). Dette koncentrationsniveau er toksisk for mange ferskvandsorganismer (*Jackson og Jobaggy, 2005*). Kaushal et al. (2005) dokumenterede også, at saltkoncentrationen i vandløbene ikke kom ned på et normalt niveau om sommeren, på trods af at der ikke blev saltet i denne periode. Årsagen blev forklaret med en stadig stigende saltkoncentration i jord og grundvand over en forudgående lang periode.

I en undersøgelse af 42 søer siden 1930 i Connecticut, USA, fandt Siver et al. (1996), at koncentrationen af Na og Cl var steget efter 1970 i takt med den stigende anvendelse af vejsalt som tømiddel i de omkringliggende boligområder. Mattson og Godfrey (1994) viser med en massebalanceberegning, at vejsalt er den væsentligste kilde til forøgede koncentrationer af Na og Cl i vandløbene i Massachusetts, USA.

Vand, der indeholder vejsalt, har en højere densitet end almindeligt ferskvand. Der er derfor risiko for, at det saltholdige vand lægger sig som et lag over søens bund, hvor det kan mindske opblanding af bund- og overfladevand og derved hæmme fordelingen af ilt og næringsstoffer i søen (*Ramakrishna og Viraraghavan, 2005; Thunqvist, 2004; Jones og Jeffrey, 1992; Judd, 1970*). En sådan lagdeling af søer er konstateret i flere canadiske og amerikanske søer, og der har de medført udryddelse af både plankton og fisk, der er tilpasset til livet i de dybe områder af søer (*Ramakrishna og Viraraghavan, 2005; Canada Environmental Protection act, 2001*).

Kim og Koretsky (2011 og 2013) udførte forsøg med saltholdige søsedimenter indsamlet forår og efterår og behandlet med 5 g NaCl/l; 5 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$ eller 1 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$. Resultaterne viste et pH-fald, og at det største fald i pH (over 3 mdr.) skete i sediment behandlet med 5 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$. I efterårssedimentet steg alkaliniteten med tiden pga. anaerob respiration i porevand. Alkalinitet fra både forårs- og efterårssediment var størst i behandlingerne med 5 g NaCl/l; 5 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$. Mn-konc. steg med tiden (største stigning observeret ved 5 g NaCl/l; 5 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$). Opløst Fe(II)-koncentrationen steg ligeledes med tiden i behandlingen med 5 g $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})/\text{l}$. Ved både efterårs- og forårssedimenter udvikledes vækst af orange-rød-farvede mikrobielle måtter (både NaCl- og CaCl_2 -behandlinger). Måtterne blev dannet hurtigere; var tykkere og klarere i farven ved CaCl_2 -behandlingen. Måtterne skyldtes organisk materiale, der fremmede anaerobisk respiration. Fosfat og ammoniak (produceret af organisk materiale ved mineralisering) steg med tiden i efterårssediment. Ammoniak-koncentrationen var højere i forårssedimentet end i efterårssedimentet i starten af forsøget. Forsøget viste, at influx af NaCl eller $\text{CaCl}_2(2\text{H}_2\text{O})$ resulterede i ionbytning og frigivelse af kationer fra ler i sediment.

Afstrømmende vand med indehold af vejsalt kan resultere i frigivelse af næringsstoffer fra sediment og jord og dermed føre til øget primær produktion.

Når koncentrationerne af Na og især Cl bliver tilstrækkeligt høje, observeres skader på de levende organismer i de ferske recipienter (*Vosyliené et al., 2006*). Nogle af disse skader skyldes ikke kun saltets skadelige effekt, men kan også stamme fra de tungmetaller, som mobiliseres og transporteres til de ferske recipienter, som følge af spredning af vejsalt (*Kaushal et al., 2005*). Harless et al. (2011) finder, at høje saltkoncentrationer mindsker udviklingsraten og øger misdannelser i embryo- og larvestadier af amfibier, og at NaCl kan øge infektionsraten af dødelig vandskimmel i embryonstadiet hos amfibier. NaCl kan ved lave koncentrationer ($\sim 1,0$ g Cl/l) ødelægge osmoreguleringsvejen (permanent) hos æg af *A. maculatum* (*Karraker og Gibbs, 2011*). Hopkins et al. (2013b) konstaterer i et review, at der observeres et stigende antal tilfælde af udviklingsdeformiteter hos amfibier (cyster, rygrads- og gælledeformiteter), disse er blevet koblet til embryonisk udvikling i salte vande (*Harless et al., 2011; Haramura, 2007; Gosner og Black, 1957*).

Na kan stimulere algevækst. Ramakrishna og Viraraghavan (2005) fandt, at relativt små stigninger af Na-koncentrationen kan stimulere væksten af blågrønne alger og dermed stimulere ”algeblomst” i søer. Urenheder i vejsalt, som eksempelvis næringsstofferne P og N, men også Cu og Zn, kan også være med til at øge algevæksten (*Canada Environmental Protection act, 2001*).

Der er undersøgelser, der peger på, at giftvirkningen af Cl er større ved den samtidige tilstedeværelse af Na sammenlignet med de divalente ioner af Ca og Mg (*Kausdal et al., 2005*). Giftvirkningen af Cl er stigende med stigende temperatur i vandet (*Chadwick og Feminella, 2001*). Danske undersøgelser har dokumenteret, at koncentrationen af Na og Cl netop kan blive meget høj om sommeren, hvor der er varmt, og fordampningen er høj (*Pedersen et al., 2000a, 2001a og c; Pedersen, 2004*).

Tabel 4 angiver saltkoncentrationsintervaller for forskellige vandtyper. Med hensyn til saltkoncentrationen i ferskvand i Danmark, sammenfatter Pedersen og Ingerslev (2007):

”Regnvand, vandløb og søer har typisk meget lave koncentrationer, mens jordvandet under skove og lignende har noget højere koncentrationer som følge af den koncentrering, der følger af fordampningen fra skoven og anden vegetation. Afstrømningsvand fra motorveje kan i vinterperioden have stærkt forhøjede saltkoncentrationer. I Bentzen og Thorndal (2004) rapporteres om gennemsnitkoncentrationer af Cl på 700 mg/l. Lignende stærkt forhøjede koncentrationer er bl.a. målt i Canada (*Canada Environmental Protection act, 2001*). I undersøgelser foretaget i Frederiksborg Amt (*Pedersen et al., 2000b*), Københavns Amt (*Pedersen et al., 2001a*) og Københavns Kommune (*Pedersen, 2004*) er der fundet endnu højere saltkoncentrationer i vejrabatter i det jordvand, der forlader træernes rodzone.”

Tabel 4. Koncentrationen (mg/l) af Cl og Na i forskellige vandtyper. Gengivet efter Pedersen og Ingerslev (2007).

Vandtype	Cl-koncentration (mg/l)	Na-koncentration (mg/l)
Regnvand ¹	10-60	6-30
Grundvand	5-50	5-30
Jordvand, skove ^{2 og 3}	10-125	5-80
Jordvand, overdrev ⁴	5-40	5-20
Jordvand, brakarealer ⁵	6-12	5-12
Jordvand ved veje ⁶⁻¹⁰	15-5.000	15-2.100
Østersøen	5.000	3.000

Kattegat	16.000	9.000
Motorvej ¹¹ og ¹²	23-3.300	-
Villavej, Nordkøbenhavn ¹¹	45-85	-

1: Corsi et al. (2003); 2: Pedersen (1993); 3: Hansen et al. (2003); 4: Pedersen et al. (2001b); 5: Gundersen og Hansen (2001); 6: Pedersen et al. (2000b); 7: Pedersen et al. (2001a); 8: Pedersen og Krag (2005); 9: Pedersen og Knudsen (2006); 10: Pedersen (2004); 11: Kjølholdt et al (1997); 12: Bastrup-Birk et al. (2004)

Kaushal et al. (2005) sammenfatter effekten af saltet. Salinitet på 1000 mg/l kan have letale og subletale effekter på akvatiske planter og invertebrater. Kroniske Cl-koncentrationer på 250 mg Cl/l (svarende til mange landes grænse for drikkevand) har vist sig at være skadeligt for arter i ferskvandsrecipienter. Effekter af forhøjede Cl-koncentrationer i akvatisk og terrestrisk miljø er:

- Forsuring af vandløb.
- Mobilisering af giftige metaller pga. ionbytning.
- Ændringer i mortalitet og reproduktion hos akvatiske planter og dyr.
- Ændringer i struktur af plantesamfund i vådområder.
- Invasion af saltvandsarter i tidligere ferskvands-økosystemer.
- Hindring af den naturlige opblanding i søer

Ved lavere koncentrationer har salt vist sig at ændre strukturen af mikrobielle samfund og forhindre denitrifikation. Disse uønskede effekter i de akvatiske miljøer kan altså påvirke både primær produktion, omsætningen af organisk stof, næringscyklusser og trofiske niveauer. Desuden er der observeret meget store sæsonafhængige udsving i Cl-koncentrationer i vandløb. Dette er problematisk for akvatiske arter, der ikke hurtigt kan justere det osmotiske potentiale i cellerne.

1.4. Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har fastsat grænseværdier for koncentrationen af Cl og Na på hhv. 250 mg Cl/l og 175 mg Na/l i drikkevandet (Anon, 2006). Vejsalt er uønsket i grundvandet, fordi det påvirker smagen, og fordi det kan give anledning til forhøjet blodtryk (hypertension) (Fischel, 2001; Wegner og Yaggi, 2001; Forman og Alexander, 1998; Transportation Research Board, 1991; OECD, 1989).

Huling og Hollocher (1972) angiver, at koncentrationer på 100-200 mg NaCl/l i de fleste tilfælde ikke er problematisk, men de kan være et alvorligt problem for mennesker på saltfattig kost. På denne baggrund anbefaler Huling og Hollocher (1972) en grænseværdi på under 25 mg Cl/ l. I Danmark er

blodtryksproblemer også udbredt. Hjerteforeningen (2007) angiver at ”De fleste danskere indtager mere salt (natrium) end deres legeme har brug for”.

I Miljøministeriet (2002) angiver Miljøstyrelsen, at ”Skader på grundvand vedrører især smagsforringelser forårsaget af MTBE og vejsalt, hvilket kan gøre grundvandet uegnet til drikkevand”, og at spredning af vejsalt til glatførebekæmpelse er én af fem hovedkilder til grundvandsforurening med NaCl i Danmark (se også Miljøministeriet, 2002).

Der er en stor gruppe litteratur, som angiver stigende mængder Cl-koncentrationer i drikkevand, eller koncentrationer, der kan relateres til anvendelsen af vejsalt, som overskrider grænseværdien for Cl i drikkevandet, både nationalt (*Rønne Vand- og Varmeforsyning A.m.b.a.*, 2007; *Cowi*, 2006; *Århus Amt*, 2005; *AV Miljø*, 2005; *Ribe Amt*, 2002; *Gustafsson og Nysten*, 2000; *Carlson et al.*, 1998) og internationalt (*Ostendorf et al.*, 2006; *Fitch et al.*, 2004; *Thunquist*, 2003; *Sarwar et al.*, 2002; *Watson et al.*, 2002; *Canada Environmental Protection Act*, 2001; *Williams et al.*, 2000; *Mason et al.*, 1999; *Rosenberry et al.*, 1999; *Howard*, 1998; *Knutsson et al.*, 1998; *Olofsson og Sandström*, 1998; *Rosén et al.*, 1998; *Bäckman*, 1980 og 1997; *Howard og Beck*, 1993; *Howard og Haynes*, 1993; *Pillon og Howard*, 1987; *Huling og Hollocher*, 1972; *Bubeck et al.*, 1971).

Lundmark (2005) viser, at grundvandsreservoirernes sårbarhed over for forurening afhænger meget af deres størrelse. Små reservoirer er typisk mest udsat for øget salttilførsel. I Olofsson og Sandström (1998) undersøges saltkoncentrationen i 13.000 private brønde i Sverige, og de konkluderer, at de brønde, der lå tæt ved veje, havde forhøjede koncentrationer af Cl. I den danske grundvandsovervågning i år 2000 angiver GEUS (*Nygaard*, 2000), at der er konstateret forhøjede niveauer, eller støt stigende indhold, af Cl i grundvandet flere steder i det daværende Fyns Amt, Frederiksborg Amt og Ribe Amt.

Kristiansen et al. (2009) undersøger danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt, og konkluderer at:

”En gennemgang af kloridindholdets udvikling i dansk grundvand de seneste 100 år indikerer, at der ikke er stigende tendenser på nationalt plan. Denne udvikling skyldes sandsynligvis flere forhold som f.eks. ændringer i vandforsyningsstrukturen i samme periode. Gennemgang af ca. 1.200 borer med bromidanalyser fra hele landet indikerer, at omkring 75 af disse kan være påvirket af vejsaltning (klorid-bromidforhold >550 og omvendt ionbytning), men at kun ca. 30 af disse har >125 mg klorid pr. liter. Analysen bygger dog på et sparsomt datagrundlag, med en dårlig datadækning på landsplan og i tiden.”,

og videre at:

”Simple overslagsberegninger for værkstedsområdet i Vestegnen viser, at en tabsprocent på 10 til 20 % vil resultere i en stigning af kloridindholdet i grundvandet på 30-60 mg/l over baggrunds niveauet. En tabsprocent til grundvandet på 50 % medfører en stigning i kloridkoncentrationen i grundvandet tæt på drikkevandskriteriet på 250 mg/l. Tilsvarende overslagsberegninger for de tættest bebyggede områder i Storkøbenhavn, f.eks. Frederiksberg kommune, indikerer, at tab af 10-20 % af vejsaltsforbruget medfører en stigning i grundvandets kloridindhold på 70-130 mg/l. Modelsimuleringer af værkstedsområdets grundvand ved en tabsprocent på 15 % viser, at kloridindholdet under de bynære områder generelt vil stige 25-40 mg/l, mens der ved nogle vejbanefletninger af de større veje kan tilføres op til 125 mg klorid pr. liter ekstra til grundvandet. I værkstedsområdet på Københavns Vestegn ses der tegn på, at kloridkoncentrationen i grundvandet generelt er stigende fra 40-80 mg klorid pr. liter i perioden 1965-1978 til 80-160 mg/l i perioden 1994-2007. Samtidig har kloridkoncentrationen i 38 % af borerne i området været stigende, 9 % har været faldende, mens 53 % har været uændret. Kloridkilderne er her en kombination af vejsalt fra overfladen, marint residualvand fra den dybere undergrund samt infiltration af havvand ved kysten. Resultaterne fra dette projekt indikerer, at klorid fra vejsaltningen i dag (ca. 180.000 tons klorid år⁻¹) sandsynligvis påvirker grundvandets kvalitet i borerne omkring byer og langs trafikintensive veje i hele landet i mange år frem. Dataanalysen på landsplan viser dog, at der på det eksisterende datamateriale i JUPITER, kun er et meget begrænset antal borer, hvor vejsalt kan have medført en kloridkoncentration i grundvandet over drikkevandskriteriet. Vejsaltning bidrager altså til en forøgelse af grundvandsressourcernes kloridindhold og områder, hvor grundvandets kvalitet også er påvirket af saltholdigt grundvand fra andre kilder, f.eks. på grund af kraftig oppumpning, kan være i særlig risiko for ikke at overholde drikkevandskriteriet på 250 mg klorid pr. liter”.

Kristiansen et al. (2009) afslutter med at anbefale:

”... at der i den nationale grundvandskortlægning, i forbindelse med kortlægning i urbaniserede områder, inddrages en vurdering af grundvandsressourcens påvirkning fra vejsaltning. Udpegning af eventuelt kritiske vejstrækninger med den største risiko for grundvandsforurening vil være hensigtsmæssigt, i forhold til at beskytte grundvandet mod vejsaltsforurening. Dette arbejde kan foregå ved hjælp af et risikovurderingsværktøj baseret på en grundvandsmodel, hvorved vejstrækninger som har særlig risiko for at forurene vandforsyningsboringer, kan udpeges. Projektet har identificeret et behov for at forbedre det nuværende vidensniveau omkring belastningen fra vejsalt og estimeringen af tabet til grundvandet, især i østdanske byområder.

Denne viden vil f.eks. kunne opnås gennem etablering af et feltforsøg i et byområde, hvor der kontinuert monitoreres på kloridindholdet i terrænnært grundvand langs vejene, i afstrømningen til åerne og i kloakvand fra rensningsanlæg. Desuden bør bidraget fra den dybere undergrund af kloridholdigt grundvandet også kvantificeres”.

I staten New York, USA, har bekymringerne for drikkevandskvaliteten medført, at det traditionelle vejsalt nu er blevet erstattet med alternative tømidler som kaliumacetat og CMA (*Jackson og Jobaggy, 2005*).

I Canada Environmental Protection Act (2001) og Bester et al. (2006) udføres modelberegninger for transporten af Na og Cl fra vejsaltning til grundvandsreservoarerne. De viser, at påvirkningen fra vejsaltningen kan variere og er afhængig af den anvendte model og grundvandets bevægelser og grundvands-magasinet's egenskaber. Det understreges, at det er de små borer, inden for relativt små afstande af 20 m fra vejen, der er mest udsatte. Der er også stor variation mellem modellerne, når man ser på, hvor lang tid det vil tage, at forbedre vandkvaliteten efter saltspredningen stoppes, fra måneder til adskillige årtier.

1.5. Konklusion:

- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Skader på jordens kemi og struktur.
- Trussel mod drikkevandskvaliteten.

2. Magnesiumklorid, $MgCl_2$

Det er begrænset, hvor meget litteratur der findes om $MgCl_2$, sammenlignet med NaCl og CMA.

2.1. Jordbunden:

$MgCl_2$ minder på mange måder om NaCl, og Cl som stammer fra $MgCl_2$ har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl (*Fay og Shi, 2012*). Mg-kationer er divalente og har en stærkere binding til jordens ionbytterkompleks. Mg kan derfor i større grad end Na ionbytte med andre kationer og derved medføre udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller (*Trahan og Peterson, 2007*). Mg har ikke den samme evne som Na til at få jorden til at klappe sammen.

2.2. Vegetation langs veje:

Cl-holdige tømidler, som eksempelvis $MgCl_2$ og $CaCl_2$, har de samme klorrelaterede skadesvirkninger, som der observeres ved brug af NaCl, og som er beskrevet i ovenstående (*Fay og Shi, 2012*). Forsøg har vist, at direkte tilførsel af $MgCl_2$ på blade er mere skadeligt end NaCl og resulterer i reducerede fotosynteserater (*Trahan og Peterson, 2008*). Trahan og Peterson (2008) konkluderer i studiet, at dette må skyldes den store mængde Cl, og ikke Mg, da det ikke er påvist, at Mg skulle være så skadeligt som her observeret, sammenlignet med anvendelsen af den samme mængde NaCl. Forsøget viste, at direkte kontakt mellem $MgCl_2$ og blade var mere skadeligt for unge træer end eksponering for $MgCl_2$ gennem jorden. Unge træer af *Pinus ponderosa* viste øjeblikkeligt (1 time efter påføring) tegn på fysiologisk sensitivitet ved påføring af $MgCl_2$ -tømiddel direkte på nålene. Fotosyntese og WUE (water use efficiency) faldt drastisk ved påførelsen.

2.3. Ferskvandskvalitet:

Albright (2005) finder i en amerikansk undersøgelse, hvor vejsalt blev udskiftet med alternative tømidler bestående af en blanding af $MgCl_2$ og organisk baserede tømidler (Magic TM), en fortsat stigning i vandløbskoncentration af Cl. Skiftet til det organisk baserede produkt fik imidlertid også vandløbs koncentration af fosfor til at vokse, formodentlig fordi det organiske salt var baseret på landbrugsprodukter med urenheder af bl.a. fosfor.

Selvom NaCl er det tømiddel, der anvendes i de største mængder, viser en undersøgelse i New York State, at Mg fra $MgCl_2$ er den tømiddel-kation, der er fundet i størst omfang i vejsidejorde (*Cunningham et al., 2008*).

Studier viser, at $MgCl_2$ er mere toksisk for haletudser end NaCl (*Harless et al., 2011; Dougherty og Smith, 2006*). Salamandre er formodentligt mere sensitive over for salte end frøer og tudser (*Chambers, 2011; Collins og Russell, 2009; Karraker og Ruthig, 2009; Karraker et al., 2008*).

Forsøg viste, at flere æg fra salamandre (*Taricha granulosa*), udsat for lave (1,0 g Cl/l), medium (1,5 g Cl/l) og høje (2,9 g Cl/l) koncentrationer af NaCl og $MgCl_2$, døde med stigende NaCl- og $MgCl_2$ -koncentrationer. Æg, der overlevede, klækkede tidligere, var mindre udviklet og generelt mindre end æg fra kontrollen. Æggene overlevede længere tid i høje koncentrationer af NaCl sammenlignet med høje koncentrationer af $MgCl_2$, men effekten var den samme ved lave koncentrationer. Det blev konkluderet, at $MgCl_2$ var lige så toksisk, eller mere toksisk, sammenlignet med NaCl.

Forsøg viste, at embryoner udviklet i NaCl- og $MgCl_2$ -opløsninger udviklede deformiteter allerede ved lave koncentrationer Cl (1,0 g Cl/l), men der var ingen signifikant forskel i deformiteter eller i udvikling af embryoner mellem de to salte. Størstedelen (ca. 74 % i NaCl og 60 % i $MgCl_2$) af æggene, der overlevede i de høje koncentrationer, udviklede deformiteter, uden signifikant forskel mellem saltene. Flest deformiteter viste sig på rygsøjlen og abdomen, men også tilfælde af reduktion eller ikke-udviklet væv (gæller, øje, lemmer, hoved) viste sig. Svære deformiteter viste sig med stigende saltkoncentration (*Hopkins et al., 2013a og b*).

Et forsøg viste, at algeslægten *Selenastrum* var meget sensitive overfor 0,1 % opløsning af $MgCl_2$ -tømiddel i laboratoriet. Dog viste et feltstudie med algesamfund hhv. eksponeret for og ikke eksponeret for $MgCl_2$ ingen forskelle i fysiologien hos algerne (*Lewis, 1999*).

2.4. Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Mg på 50 mg Mg/l (*Anon, 2006*). Der findes ikke dokumentation for helbredseffekter af forhøjet indhold af Mg i drikkevand j.f. Fischel (2001). Endvidere er der på nuværende tidspunkt, så vidt forfatterne er orienteret, ikke observeret forhøjede koncentrationer af Mg i drikkevandet, som kan føres tilbage til anvendelsen af tømidlet $MgCl_2$.

2.5. Konklusion:

- Medfører udvaskning af næringsstoffer.
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer
- Skader ikke jordstrukturen, som vejsalt gør det.

3. Kalciumklorid, CaCl_2

Som for MgCl_2 gælder det, at mængden af litteratur, der belyser effekten af CaCl_2 i miljøet, er stærkt begrænset sammenlignet med den tilsvarende litteratur for eksempelvis NaCl og CMA.

3.1. Jordbunden:

Med hensyn til de jordbundskemiske effekter minder CaCl_2 meget om MgCl_2 . Cl fra CaCl_2 har i jordbundsmæssig sammenhæng den samme effekt som Cl fra NaCl (Fay og Shi, 2012), og den divalente kation af Ca har som Mg -ionen en stærk binding til ionbytterkomplekset og kan ionbytte med andre kationer. Dette medfører udvaskning af næringsstoffer og tungmetaller i højere grad end for Na . Ca kan akkumulere i jorden. Med tiden kan dette føre til geokemiske interaktioner mellem Ca og andre elementer i jorden og derved påvirke plantetilgængeligheden af stofferne (Galuszka et al., 2011). Ca har ikke samme evne som Na til at få jorden til at klappe sammen.

3.2. Vegetation langs veje:

Vedr. Cl -holdige tømiders påvirkning af vegetationen se under NaCl . Kim og Koretsky (2011) lavede forsøg med sedimenter og NaCl og CaCl_2 . Disse forsøg er gennemgået i ovenstående under NaCl . Herudover findes der ikke litteratur, der dækker dette emne.

3.3. Ferskvandskvalitet:

Vedr. Cl -holdige tømiders påvirkning af ferskvandskvaliteten, se under NaCl . Herudover findes der ikke litteratur, der dækker dette emne.

3.4. Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har ikke fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Ca . Herudover findes der ikke litteratur, der dækker dette emne.

3.5. Konklusion:

- Miljøeffekterne er dårligere undersøgt end for vejsalt
- Omfattende skader på planter og ferskvandsorganismer.
- Medfører mere udvaskning af næringsstoffer fra jorden end vejsalt.
- Skader ikke jordstrukturen, som vejsalt gør det.

4. Kalciummagnesiumacetat, CMA, $\text{CaMg}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_4$

For CMA er der stillet spørgsmål til tømیدlets samlede miljøaftryk. Spørgsmålet er lige så relevant for alle andre tømیدler, og der er ikke baggrund for at tro, at CMA har et mere negativt aftryk end andre alternative tømیدler. Emnet er ufuldstændigt belyst.

Fitch et al. (2013) sammenligner NaCl og CMA's miljøbelastninger og konkluderer, at CMA fører til betydeligt højere miljøbelastning i hele sin livscyklus. De fleste af disse belastninger er forbundet med produktionen af CMA. De saltbaserede tømیدler genererer færre drivhusgasser og har et mindre biokemisk iltforbrug i vand. Anvendelse af Cl-baseret saltlage, i stedet for i tør form, medfører betydelige reduktioner i miljøpåvirkning i hele livscyklussen. Hermed rammer Fitch et al. (2013) et meget vigtigt emne, nemlig livscyklusanalyse (LCA) for stoffernes samlede miljøpåvirkning. Når man nærlæser Fitch et al. (2013), kan man sætte spørgsmålstejn ved, om de har medtaget samtlige af de miljøeffekter, som produktionen og spredningen af to kemikalier reelt medfører. Eksempelvis ser det ikke ud til, at de har estimeret, hvor mange vejnrer træer og beplantninger, der dør og skal udskiftes inkl. jordudskiftning, og hvilke miljøbelastninger dette arbejde medfører ved anvendelsen af de forskellige kemikalier.

4.1. Jordbunden:

Fischel (2001) konkluderer i et litteraturstudie, at CMA er et af de tømیدler, der medfører den mindste effekt på udvaskningen og fjernelsen af ioner fra jorden, fordi Ca, Mg og acetat bindes relativt stærkt i jorden sammenlignet med bestanddelene i mange af de øvrige tømیدler.

Amrhein et al. (1992) undersøgte de jordbundskemiske forhold efter anvendelsen af CMA og konstaterede, at CMA har god effekt på jordens permeabilitet. Ca og Mg bindes stærkere til jordens ionbytterkompleks end Na. De undersøgte også, hvordan tømیدler kan påvirke Cd-mobiliseringen. Forsøget viste, at opløsninger med høje koncentrationer af hhv. NaCl eller CMA mobiliserede mere Cd end opløsningen med lavere koncentrationer. De konkluderer, at Cd mobiliseres og udvaskes gennem kationbytning og ved kompleksdannelse med Cl⁻ eller acetat. Acetat danner stærkere metal-acetat-komplekser end Cl⁻. Ved de høje koncentrationer af hhv. NaCl og CMA var udvaskningen af Cd større for CMA end for Cl⁻, antageligt pga. forskellen i styrken af komplekserne. CMA kan således øge koncentrationen af metaller i jorden og ultimativt føre til øget indhold af metaller i grundvand og overfladevand. Eddikesyre, Na-acetat og ammoniumacetat anvendes således til metalekstraktion i jorde. CMA-opløsninger opløste mere Cr end NaCl-

opløsninger (*Amrhein et al., 1992*). Amrhein et al. (1992) observerede endvidere, at mobilisering af Cu, Ni, Cr, Pb og Fe fra vejsidejorde var mest kontrolleret af mobiliseringen af organisk materiale.

CMA får ikke jorden til at klappe sammen, tværtimod kan CMA bidrage til at forbedre krummestrukturen og øge permeabiliteten på grund af indholdet af divalente ioner (*Horner, 1988*).

I jordbunden og i vandmiljøet kan der ske en mikrobiel nedbrydning af acetat, som er en iltkrævende proces, hvor der dannes CO₂ og vand (*Pedersen og Ingerslev, 2007; Fischel, 2001*). Acetat-baserede tømidler kan således reducere tilgængeligt ilt for organismer i jord (*LaPerriere og Rea, 1989*). CMA øger jordens pH gennem stimulering af mikrobiel aktivitet, formodentligt via produktion af bicarbonat og efterfølgende udfældning af metalkarbonat (*Amrhein og Strong, 1990; Dunn og Schenk, 1979*).

I Fischel (2001) diskuteres det, om denne omsætning af acetat kan medføre en øget udvaskning af tungmetaller, når CMA anvendes som tømiddel. Resultaterne i Fischel (2001) er modsatrettede. Således angiver Horner (1988), at der er en tendens til, at spredning af CMA kan øge udvaskningen af tungmetaller mere, end tilfældet er for NaCl, mens Amrhein og Strong (1990) ikke kan finde denne tendens.

I et litteraturstudie af Fay og Shi (2012) konkluderer de, at CMA ikke har vist negative effekter på jordbundsforholdene og kemien på baggrund af en undersøgelse foretaget i New Zealand (*Burkett og Gurr, 2004*).

Robidoux og Delisle (2001) undersøgte den toksiske effekt af hhv. CMA, NF og NaCl på regnorme. Det viste sig, at CMA var signifikant mindre toksisk overfor regnorm end NaCl og NF. Toksisiteten var lavere i naturlig jord sammenlignet med kunstig jord - formentligt pga. interaktion mellem tømidler og organisk materiale.

4.2. Vegetation langs veje

CMA viste ingen negative konsekvenser på vegetation i en undersøgelse foretaget i New Zealand (*Burkett og Gurr, 2004*). CMA kan øge plantevækst ved at forbedre jord-permeabiliteten og tilføre næringsstofferne Ca og Mg. Der kan endog være et særligt behov for Ca i områder, hvor vejsaltning har medført, at jorden er klappet sammen (*Fritzsche, 1992*).

En undersøgelse viste ingen synlige skader, men et meget lille fald i biomassetilvæksten på rød svingel, rajgræs, lancetbladet vejbred og hvidkløver ved påvirkning af CMA (*Akbar et al., 2006*). Et andet studie viste ingen skader på lancetbladet vejbred, solsikke, douglasgran, balsamgran og rødløn ved tilførsel af små doser CMA (0,5-1,0 g CMA/kg jord) (*McFarland og O'Reilly, 1992*). Dog var der markante skader ved øgede doser (2-4 g CMA/kg jord).

Skaderne opstod pga. osmotisk stress. CMA's effekt på planterne var mindre på leret jord end sandjord, formodentligt pga. ionbytning og nedbrydning af acetat. Således konkluderede McFarland og O'Reilly (1992), at planter udviste generelt større tolerance over for CMA end vejsalt.

Mange undersøgelser (Akbar *et al.*, 2006; Burkett og Gurr, 2004; Robidoux og Delisle, 2001; McFarland og O'Reilly, 1992) leder frem til, at CMA er mindre skadeligt over for beplantninger i forhold til NaCl.

Hanslin (2011) undersøgte effekten af NaCl, CMA og KF på små træer i et pottforsøg. Han observerer, at CMA og KF ikke har mindre indvirkning på de unge træers vækst end NaCl. Han fandt for alle tre stoffer negative effekter ved stigende koncentrationer, og at de negative effekter var ens for alle tre tømidler (koncentrationen blev sammenlignet ved ladningen af anionerne). Rodvækst var negativt påvirket hos spidsløn og skovfyr. Ved stigende koncentrationer var bladbiomasse og stammediameter negativt påvirket hos skovfyr, men ikke spidsløn. Responsen hos træerne på stigende koncentrationer var mindre negativ i et forsøg med substrat indeholdende mere organisk materiale, end forsøg med substrat indeholdende mindre organisk materiale. Acetat kan inhibere rodvæksten (Li *et al.*, 2002).

4.3. Ferskvandskvalitet:

CMA indeholder acetat, som er en organisk anion, der kan nedbrydes i de ferske recipienter under iltforbrug. CMA kan derved lede til iltmangel i det akvatiske miljø. Denne problemstilling er i litteraturen ofte blevet fremhævet som et af de største miljømæssige problemer ved anvendelsen af CMA (Meyer og Grarup, 2003; Fischel, 2001; Tanner og Tamara, 2000; McFarland og O'Reilly, 1992; Transportation Research Board, 1991; Connolly *et al.*, 1990; Horner, 1988).

I vand og jord er de organiske tømidler (CMA, KA, KF mv.) fuldt nedbrydelige til CO₂, vand og hhv. Ca, Mg, og K. Tilstedeværelsen af acetat, og dermed et forøget BOD i vandmiljøet, kan således opfattes som et stof, der potentielt kan "stjæle" ilt fra andre processer og dermed fremme anaerobe forhold. Fischel (2001) og McFarland og O'Reilly (1992) har påvist iltsvind forårsaget af organiske tømidler i både laboratorie- og i feltforsøg. I forsøgsbassiner er det bl.a. blevet påvist, at tilsætning af CMA fører til et lavere iltindhold i vandet på grund af et øget iltforbrug (Winters og Gidley, 1985).

Der er udført en del forsøg for at afdække, hvorvidt anvendelsen af CMA fører til iltmangel i de ferske recipienter, men resultaterne er ikke entydige. Tanner og Tamara (2000) undersøgte, hvordan anvendelse af CMA på en hovedvej i Oregon påvirkede vandløbet Bear Creek. De kunne ikke måle nogen effekt på BOD. McFarland og O'Reilly (1992) og Connolly *et al.* (1990)

fandt, at CMA nedbrydes hurtigt i ferske recipienter, og at CMA i langt de fleste tilfælde kun ville have en relativt lille effekt på BOD.

Nedbrydningshastigheden af CMA er stærkt temperaturafhængig ifølge Ihs og Gustafson, (1996). De finder, at CMA nedbrydes totalt på 100 dage i vand ved 20°C, mens det ved højere temperaturer går betydeligt hurtigere. Under forudsætning af, at tømidlerne allerede er blevet udvasket til en fersk recipient, vil risikoen for iltsvind således i en kort periode vokse markant med øgede temperaturer (*Fischel, 2001*). Samtidig har forsøg ved lavere temperaturer (4°C) vist, at der går længere tid, op til 8 dage, før nedbrydningen bliver betydelig (*Ostendorf et al., 1995; Coglan, 1990*).

En del forsøg har vist, at CMA kan føre til iltsvind i ferske recipienter (*Fischel, 2001; Transportation research Board, 1991*). I Transportation Research Board (1991) sammenlignes CMA med vejsalt, og der konkluderes det, at CMA er miljømæssigt sikkert at anvende i langt de fleste tilfælde, men det anbefales at være opmærksom nær vådområder, som har en dårlig gennemstrømning, og hvor der er stor risiko for større afstrømning af afslusningsmidler direkte til ferske recipienter.

Hastigheden, hvormed nedbrydningen sker, kan spille en væsentlig rolle for, hvorledes et organisk tømiddel påvirker de ferske recipienter. Pedersen og Ingerslev (2007) angiver, at en hurtig nedbrydning har både positive og negative konsekvenser. Foregår nedbrydningen hurtigt, vil forbruget af ilt foregå tilsvarende hurtigt, hvorfor risikoen for, at CMA overhovedet når ferske recipienter, er meget lille, hvis det nedbrydes hurtigt. Omvendt er der større risiko for lokalt iltsvind ved anvendelsen af CMA, hvis større mængder CMA har nået en fersk recipient.

Ihs og Gustafson (1996) refererer et finsk studie, der peger på, at nedsivningen af ikke-nedbrudt CMA til dybere jordlag er betydelig, og at den finske forfatter på den baggrund anbefaler, at CMA ikke anvendes nær overfladenære grundvandsmagasiner, og at anvendelsen bør være restriktiv i forbindelse med overfladevande og næringsrige søer. Ihs og Gustafson (1996) vurderer dog, at miljøpåvirkningen fra CMA vil være klart mindre negativ end effekten fra NaCl.

Anvendelsen af CMA kan medføre en forøgelse af ferske recipienters pH (*Horner, 1988*).

Nogle undersøgelser har vist, at anvendelsen af CMA kan ændre artssammensætningen og koncentrationen af alger og bakterier (*Transportation Research Board, 1991; LaPerriere og Rea, 1989*). Andre undersøgelser finder ikke disse ændringer (*Goldman og Lubnow, 1992; Goldman et al., 1992; McFarland og O'Reilly, 1992*). Der er ikke en entydig sammenhæng mellem forskellen i disse konklusioner og de undersøgte koncentrationsniveauer. McFarland og O'Reilly (1992) angiver, at CMA's påvirkning af akvatiske invertebrater

(hvirvelløse dyr, herunder snegle, insekter, orme mv.) er begrænset. Således overlevede og reproducerede disse op til koncentrationer på 500 mg CMA/l. Først ved højere koncentrationer forekom der skader som følge af lave ilt-koncentrationer og osmotisk ubalance. Test på fisk i forsøgskamre viste ingen tegn på skader op til koncentrationer på 1000 mg/l, så længe vandet var godt iltet (*Transport Research Board, 1991; Horner, 1988*).

4.4. Drikkevandskvalitet:

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af Mg på 50 mg Mg/l. Der findes ingen grænse for Ca (*Anon, 2006*). I Meyer og Grarup (2003), Meyer og Nygaard (2001) og Davis et al. (1992) vurderes det, at CMA og KF ikke under normale omstændigheder vil kunne påvirke grundvandsressourcen. Denne vurdering beror på, at der er tale om letomsættelige organiske stoffer, som ofte ses i biologiske stofskifteprocesser. Således vurderes en fuldstændig omsætning at være sket under transport gennem jordmatrix.

Ihs og Gustafson (1996) refererer et finsk studie, der peger på, at nedsivningen af ikke-nedbrudt CMA til dybere jordlag er betydelig, og at den finske forfatter på den baggrund anbefaler, at CMA ikke anvendes nær overfladenære grundvandsmagasiner, og at anvendelsen bør være restriktiv i forbindelse med overfladevande og næringsrige søer.

Hellstén og Nysten (2003) angiver, at organiske tømidler, der indeholder acetat eller formiat, hævede pH i den nedsivende jordvæske, og at acetat og formiat blev nedbrudt af mikroorganismer. Denne mikrobielle nedbrydning fandt sted under forbrug af ilt og reducerede også koncentrationen af næringsstofferne $\text{NO}_3\text{-N}$ og $\text{PO}_4\text{-P}$ i vandet. Disse processer kan have indflydelse på den kemiske sammensætning af det grundvand, der dannes nær de vejstrækninger, hvor der anvendes CMA. Endvidere fandt de, at formiat kræver mindre ilt for at blive nedbrudt end acetat. Derfor vil formiat også nedbrydes i grundvandet, hvor der er mindre ilt tilgængeligt. Formiat blev desuden nedbrudt hurtigere end acetat i både sand- og grusfiltre.

4.5. Konklusion:

- Fører kun i mindre grad til udvaskning af næringsstoffer.
- Forbedrer jordens struktur.
- Risiko for iltsvind i jord og vandmiljø.

5. Kaliumformiat, KF, KCHO₂

Der er lavet en del undersøgelser, som både omfatter CMA og KF. Disse er oftest gengivet under CMA, så det anbefales at læse dette afsnit.

5.1. Jordbunden

K er et næringsstof, som bindes mindre kraftigt til ionbytterkomplekset end Mg og Ca, men stærkere end Na. Formiat er en mindre anion end acetat, og derfor nedbrydes formiat ofte hurtigere og under et mindre iltforbrug end acetat. Den mikrobielle nedbrydning af KF kan hæve pH i jorden (*Hellstén og Nysten, 2003*).

Hellstén et al. (2005a og b) undersøgte miljøeffekterne af anvendelsen af KF i Finland. Efter 3 års applikation af KF på en hovedvej i Finland blev der ikke fundet rester af hverken formiat eller K i grundvandet. Undersøgelsen pegede også på, at formiat blev biologisk nedbrudt af bakterier selv ved temperaturer tæt på 0°C. Dette ved både aerobisk og anaerobisk nedbrydning. Nedbrydningen var størst, når indholdet af organisk stof var højt (>5 %). Den mikrobielle nedbrydningen af acetat i jorden er hurtig, og akkumulering af formiat er ikke forventet (*Hellstén et al., 2005a og b; Biernath et al., 2008*).

5.2. Vegetation langs veje

Hellstén et al. (2005a) viser, at fem KF-doseringer på en vinter, ialt 3,4 kg/m², har en skadelig effekt på vegetation. Formiat stimulerer trævæksten ved lave koncentrationer (*Shiraishi et al, 2000*), men formiat (og acetat) inhiberer rodforlængelse, da rodvækst er mere sensitiv overfor formiat end skudvækst (*Li et al, 2002*).

5.3. Ferskvandskvalitet

Litteraturen på dette område er yderst sparsom og er gengivet under CMA.

Ingerslev et al. (2013) undersøger tre lokaliteter, der samtidigt bliver tilplantet med samme klon af lindetræer: På Øster Allé (ØA), hvor der anvendes KF som tømiddel, på Center Boulevard (CB), hvor der anvendes NaCl, og i Fælledparken (FÆ), hvor der ikke tilføres tømidler. Ved denne undersøgelse laves en omfattende serie målinger af udvaskningen af stoffer med jordvæsken under rodzonen, jordbundskemien og træernes udseende samt plantefysiologiske parametre. Hvis det er tømidlerne, der er årsagen til de konstaterede forskelle i mellem lokaliteterne, ville konklusionen se ud som her under. Undersøgelsen bygger på detailundersøgelser af træerne på de tre lokaliteter, der adskiller sig med hensyn til anvendelsen af tømiddel, men også på andre punkter som f.eks. vind, påvirkning fra tidligere anvendelser, trafik, biotop osv. Det er rimeligt at forvente, at de forskelle, der findes mellem træerne på lokaliteterne, skyldes en blanding af alle faktorer på voksestederne. I nedenstående fokuserer vi udelukkende på tømidlerne og ignorerer alle andre mulige faktorer. Vi lader os heller ikke bremse af, at FÆ i flere tilfælde forstyrrer billedet, men lader forskellene mellem CB og ØA træde frem. Det betyder, at der er risiko for, at nogle af sætningerne her under er forkerte, forenkledede eller overfortolkede, men til gengæld sløres billedet ikke af forbehold. Kapitlet skal derfor læses med begrænsningerne in mente.

Jord

- Tømidlerne påvirker ikke jordens indhold af S, C og N.
- Anvendelsen af salt medfører en øget koncentration af Na i 0-20 cm og tendens til øget koncentration i 20-50 cm dybde.
- Anvendelsen af salt medfører et øget indhold af Cl i jorden under 10 cm dybde. Cl, der generelt udvaskes hurtigt, er altså til stede i jorden hele vækstsæsonen og kan måles i oktober, hvor jordprøverne blev taget.
- Mange års anvendelse af salt medfører en opbygning af en meget betydelig pulje især Na, men også Cl i jorden. Rodrummet er altså påvirket af salt i mange år efter anvendelsen af salt ophører, hvis der er vandtransport fra råjorden ind i rodzonen eller rodvækst ud i råjorden.
- Det er sandsynligt, at det øgede input af K med kaliumformiat medfører øget K-koncentration i jorden, i lighed med Na fra vejsalt. Denne effekt kan ikke vises i undersøgelsen, da AllétræsMulden på ØA allerede på forhånd indeholdt betydeligt mere K.

Vand og stofbalancer

- Tilførslen af K stiger betydeligt ved anvendelse af kaliumformiat.
- I denne undersøgelse starter jordvandets koncentration af K på ØA med at være relativt høj men faldende igennem hele perioden. Dette peger på, at K-indholdet i AllétræsMulden har en større effekt på K i jordvandet end det tilførte K med kaliumformiat. Ligevekten mellem inputtet af K og udvaskningen fra en mere moden jordbund kan ikke vises i denne undersøgelse, på trods af at K koncentrationen på ØA er faldende igennem hele projektperioden. Ved udgangen af 2012 er der ikke ligevegt i K-balancen på ØA. Der udvaskes mere K end der tilføres, men eftersom K-koncentrationen i jordvandet er faldende, så vil K-udvaskningen nærme sig tilførslen.

Ingerslev et al. (2013) fortsat.

- Ved anvendelse af salt er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende de første tre år efter plantning. Man må forvente en stadig stigende udvaskning af Na og Cl, der afhænger af doseringen hver vinter. På CB er Na- og Cl-balancerne således ikke i balance. Samtidig må man forvente en øget akkumulering af Na, der medfører en dårligere jordstruktur i fremtiden.
- Råjorden på ØA er tydeligt påvirket af tidligere anvendelse af salt. Den gamle salt-pulje bliver opløst og påvirker Na- og Cl-indholdet i den nye AllétræsMuld. Saltforureningen er altså mobil og påvirker også det nyetablerede rodrum.
- Formiat, der tilføres med kaliumformiat, er generelt tilstede i jordvandet i så lav koncentration, at det ligger under detektionsgrænsen på 0,1 mg/liter. Formiat omsættes altså effektivt i jorden.

Træer

- Højde og stammeomkreds: salt reducerer både træernes højdevækst og tykkelsesvækst signifikant.
- Kronestørrelse og -densitet: salt reducerer både kronevolumen (signifikant) og kronedensiteten (delvist signifikant).
- Løvfald: Der er ikke tegn på, at tømидlet påvirker løvfaldet i 2011.
- Grenvækst: Salt reducerer grenvæksten signifikant.
- Beløvning: Der er tydelig reduktion af beløvningen som følge af saltning med salt. Kaliumformiat giver konstant høj beløvning.
- Grønfarvning: Der er ikke entydig sammenhæng mellem grønscoren og typen af tømiddel.
- Blomstring: Blomstringen påvirkes ikke af tømیدlerne.
- Barkskader: Anvendelsen af tømیدler har ikke indflydelse på omfanget af basale barkskader.
- Døde grene: Salt medfører langt mere udbredt grendød end kaliumformiat.
- Kloroser: Salt medfører signifikant flere kloroser end kaliumformiat.
- Nekroser: Salt medfører nekroser på bladene. I to ud af tre år fordobles nekrose-scoringen af salt.
- Insektgnav: Salt medfører et højt niveau af insektgnav i forhold til kaliumformiat. Effekten er indirekte og hænger formodentlig sammen med træernes vitalitet og dermed evne til at danne forsvarsstoffer.
- Sundhed: Salt giver en samlet sundhed, der er signifikant dårligere end kaliumformiat.

Blade

- Bladstørrelse: Salt medfører, at bladene bliver signifikant mindre end ved brug af kaliumformiat.
- Bladfarve: Salt ser ikke ud til at påvirke bladenes farve.
- Klorofylkoncentration: Salt medfører en reduktion af bladenes klorofylindhold.
- Fluorescens: Der er ikke systematiske tegn på, at salt påvirker fluorescensen.

Ingerslev et al. (2013) fortsat.

- Bladvægt: I 2012 er der tendens til, at salt har reduceret bladvægten. Andre år er bladvægten ens uanset tømiddel.
- K-koncentrationen i bladene er ofte signifikant højere, når der anvendes kaliumformiat.
- Der er tendens til, at kaliumformiat medfører lavere indhold af Mg i bladene, hvilket kunne tyde på, at optaget af Mg hæmmes af K fra kaliumformiat.
- Salt medfører et signifikant højere Na- og Cl-indhold i bladene.

5.4. Drikkevandskvalitet

Miljø- og Energiministeriet har fastsat en grænseværdi for koncentrationen af K på 10 mg K/l i drikkevand (*Anon, 2006*). Den daglige menneskelige indtagelse af kalium med kosten ligger mellem 2000 og 6000 mg, hvorfor indtagelsen gennem drikkevand som regel ingen helbredsmæssig betydning har.

I et studie af KF angiver Helstén et al. (2005 a og b), at formiat ikke når frem til grundvandsreservoirer og heller ikke har nogen effekt på vandkemien der. Andre undersøgelser peger i modsat retning (*Fischel, 2001*).

Finske undersøgelser peger på, at KF er et effektivt tømiddel, som kan anvendes til at mindske glatførebekæmpelsens negative påvirkning af grundvandsressourcerne (*Hellstén et al. (2005 a og b)*). I samme undersøgelse blev der ikke fundet formiat i et højtliggende grundvandsmagasin, ligesom der ikke blev registreret ændringer i koncentrationen af kalium i dette magasin. Dette indikerer en effektiv ionbytning med K og en fuldstændig omsætning af formiat i de øverstliggende jordlag. Den finske undersøgelse involverede også laboratorieforsøg, der viste, at nedbrydningen af formiat under aerobe forhold (med tilstedeværelse af ilt) blev påbegyndt øjeblikkeligt ved kontakt mellem formiat og jord, så længe jorden ikke var frossen.

5.5. Konklusion:

- Formiat nedbrydes hurtigt i jorden.
- Mindre skade på planter end NaCl.
- Risikoen for at KF giver iltsvind i ferskvand er lille.

6. Natriumformiat, NF, NaCHO_2

Litteraturen er yderst begrænset mht. dette stofs miljømæssige effekter. Effekten af Na er gennemgået under NaCl, og effekten af formiat er gennemgået under KF.

6.1. Jordbunden:

Her henvises til ovenstående afsnit om Na (under NaCl) og formiat (under KF).

6.2. Vegetation langs veje

Fay og Shi (2012) sammenfatter i deres litteraturstudie de spartanske oplysninger om dette stof på følgende måde. NF og NaCl er lige toksiske for Kentucky bluegrass (*Poa pratensis*), rødsvingel (*Festuca rubra*), byg (*Hordeum vulgare*) og karse (*Lepidium sativum*) (Robidoux og Delisle, 2001). NF-formiatbaseret tømiddel har vist positiv effekt på nåletræ- og solsikkevækst, hvor det virker som gødning ved koncentrationer på ca. 0,5 g NF/kg jord. Ved højere konc. (4 g NF/kg) opstår reduceret spiring, mindre biomassevækst, undertrykt vækst af apikal meristem, brunfarvning og ældning af blade/nåle (Bang and Johnston, 1998).

6.3. Ferskvandskvalitet

Corsi et al. (2012) undersøgte NF og fandt, at det havde et lavere COD (chemical oxygen demand) end acetat-baserede tømidler. NF udviste en inhibitorisk effekt på mikroorganismer ved BOD-test. NF øger turbiditet, hårdhed og alkalinitet i vand (Hellstén et al., 2005a, b). Na-formiatbaserede tømidler kan resultere i desorientering hos fisk, konkav abdomen og krumning af rygraden, udspiling af gæller og død (Bang and Johnston, 1998). Corsi et al. (2009) lavede forsøg, der indikerede, at toksiciteten af NF skyldtes toksiciteten af et tilsætningsstof (antikorrosionsmiddel eller antiklumpningsmiddel). *P. promelas* og *C. dubia* udviste større sensitivitet overfor K-acetat end NF i akutte tests.

6.4. Drikkevandskvalitet

Her henvises til ovenstående afsnit om Na (under NaCl) og formiat (under KF).

6.5. Konklusion

- Miljøeffekten er ikke beskrevet.
- Formodentlig en blanding af effekten fra Na og formiat.

7. Konklusion og anbefalinger

Når vi se på de miljøeffekter, som er undersøgt og dokumenteret i litteraturen, og fokuserer på effekterne på de vejnære økosystemer (jordbundsforhold, jordbundskemien samt beplantninger), bliver den overordnede konklusion den samme, som fremkom i Pedersen og Ingerslev (2007): at vi af hensyn til miljøet, hverken kan anbefale de natriumbaserede alternative tømidler som eksempelvis natriumformiat og natriumacetat, eller de kloridbaserede produkter som eksempelvis magnesiumklorid, calciumklorid og kaliumklorid, da de alle vil have negative effekter, som forårsages af hhv. natrium- eller kloridioner i det vejnære miljø.

De resterende alternative tømidler uden Na og Cl ser mere eller mindre lovende ud med hensyn til miljøeffekter. For at evaluere deres samlede effekt på miljøet mangler vi viden om gentagen brug over mange år og en samlet livscyklusanalyse af stofferne.

Det skal igen pointeres, at den mængde litteratur, som omhandler de forskellige tømidlers miljøeffekter, varierer væsentligt fra tømiddel til tømiddel, og der er også stor forskel på, hvilke miljøeffekter, der er blevet undersøgt for de forskellige tømidler. Det er derfor ikke muligt, at lave en generel sammenligning af de forskellige tømidlers miljøeffekter, på en tilstrækkelig forsvarlig måde.

Der er en generel mangel på feltundersøgelser af tømidlernes effekt og især langtidseffekterne er sjældent undersøgt. Det er også et generelt problem, at mange undersøgelser kun sammenligner få tømidler fx vejsalt og et alternativ, hvilket ikke giver mulighed for at sammenligne de alternative tømidler med hinanden.

Tømidler bliver oftest alene vurderet ud fra deres tø-effekt og indkøbspris. Vi vil opfordre til at inddrage tømidlernes sum af effekter i en prisvurdering. Den direkte indkøbspris og tø-effekt er naturligvis vigtig, men i en samlet økonomi er det vigtigt, at indregne de afledte effekter som f.eks genplantning af døde træer, men også værdisætning af ”ikke-omsættelige” værdier som f.eks vejtræers vitalitet og vækst, drikkevandets smag osv. Oven i indkøbet af vejsalt bør der f.eks tillægges udgifter til håndtering af saltværn, korrosion, plantesvækkelse og død, udskiftning af forgiftet jord og genplantning, påvirkning af drikkevandskvaliteten osv. I en analyse af tømidlernes miljøeffekt bør produktionens miljø-fodspor også inddrages.

Vi vil anbefale, at der iværksættes fuldskala feltforsøg med sammenligning af forskellige tømidlers effekt på jord og træer. Forsøget bør dels inddrage eksisterende vejtræer, der påvirkes af en lang række faktorer ud over tømidler, dels af ”markforsøg”, hvor forsøgstræer plantes under ens vilkår og udsættes for en kontrolleret belastning af tømidlerne. Forsøgene skal nødvendigvis løbe over en årrække.

8. Referencer til rapporten

- Akbar, K. F., Headley, A. D., Hale, W. H. G. & Athar, M. (2006): A comparative study of de-icing salts (sodium chloride and calcium magnesium acetate) on the growth of some roadside Plants of England. *J. Appl. Sci. Environ.*, 10, 67-71.
- Albright, M. (2005): Changes in Water Quality in an Urban Stream Following the Use of Organically Derived Deicing Products. *Lake and Reservoir Management*, 21 (1), 119-124.
- Amrhein, C. & Strong, J. E. (1990): The effect of deicing Salts on Trace Metal Mobility in Roadside Soils. *Journal of Environmental Quality*, 19, 765-772.
- Amrhein, C., Strong, J. E. & Mosher, P. A. (1992): Effect of Deicing Salts on Metal and Organic-Matter Mobilization in Roadside Soils. *Environmental Science & Technology*, 26, 703-709.
- Anon (2006): Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. BEK nr. 871 af 21/09/2001 & BEK Nr. 1664 af 14/12/2006. <http://www.lyngeoverdrevvand.dk/vandkvalitet/BEKNr871af21092001.pdf>. Last accessed on September 9, 2014.
- AV Miljø (2005): Årsrapport 2005. Uggeløse losseplads, pp. 10.
- Balder, H. & Nierste, J. (1987): Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes. *Umwelt Bundes Amt*, 87-058, pp. 69.
- Bang, S. S. & Johnston, D. (1998): Environmental Effects of Sodium Acetate (Formate Deicer, Ice Shear™. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 35, 580-587.
- Basttrup-Birk, A., Friberg, N., Pedersen, M. L., Skriver, J., Kronvang, B. & Larsen, S. E. (2004): Anvendelse af vandrammedirektivet i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, 499, Danmarks MiljøUndersøgelser, Miljøministeriet, pp. 145.
- Bauske, B. & Goetz, D. (1993): Effects of Deicing-Salts on Heavy-Metal Mobility. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 21, 38-42.
- Bentzen, T. R. & Thorndal, S. (2004): Numerisk modellering af vand- og stoftransport ved afvanding af motorveje. Afgangprojekt ved Civilingeniør-uddannelsen ved Aalborg Universitet, pp. 165.
- Berkheimer, S. F. & Hanson, E. (2006): Deicing salts reduce cold hardiness and increase flower bud mortality of highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131, 11-16.
- Bernstein, L., Francois, L. E. & Clark, R. A. (1972): Salt Tolerance of Ornamental Shrubs and Ground Covers. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 97, 550-556.
- Bernstein, N. & Kafafi, U. (2002): Root growth under salinity stress. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafafi, U. (Eds.), *Plant Roots: The Hidden Half*, 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 787-819.

Referencer

- Bernstein, N., Meiri, A. & Zilberstaine, M. (2004): Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 188-192.
- Bester, M. L., Frind, E. O., Molson, J. W. & Rudolph, D. L. (2006): Numerical Investigation of Road Salt Impact on an Urban Wellfield, *Ground Water*, 44 (2), 165-175.
- Biernath, C., Fischer, H. & Kuzyakov, Y. (2008): Root uptake of N-containing and N-free low molecular weight organic substances by maize: a ¹⁴C/¹⁵N tracer study. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 2237-2245.
- Blasius, B. J. & Merritt, R.W. (2002): Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities. *Environmental Pollution*, 120, 219-231.
- Bogemans, J., Neirinckx, L. & Stassart, J. M. (1989): Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea abies* (L.) sp.), *Plant and Soil*, 113, 3-11.
- Borup, P.W., Linneballe, J. A., Pedersen, L. B. & Randrup, T. B. (2005): Patent: Skærmindretning til beskyttelse af planter mod vejsalte, støv, sand, slud m.v. March 14: PR 175830.
- Brod, H. (1993): Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven*, 1-165.
- Brod, H. (1989): Soil properties and soil ameliorative measure after application of de-icing salt (NaCl). *Zeitschrift für Vegetationstechnik*, 12, 99-105.
- Bryson, G.M. & Barker, A.V. (2002): Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.*, 33, 67-78.
- Bubeck, R. C., Diment, W. H., Deck, B. L., Baldwin, A. L. & Lipton, S. D. (1971): Runoff of deicing salt: effect on Irondequoit Bay, Rochester, New York. *Science*, 172, 1128-1132.
- Burkett, A. & Gurr, N. (2004): Icy roads management with calcium magnesium acetate to meet environmental and customer expectations in New Zealand. In: *Transportation Research Board (Ed.), Proc. 6th Intl. Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology. Transportation Research Circular E-C063: Snow and Ice Control Technology. SNOW04-050*, 267-277.
- Bäckman, L. (1980): Vintervägsaltets miljöpåverkan. VTI Rapport, 197, National Road and Traffic Research Institute, Linköping, pp.62.
- Bäckman, L. (1997): Vintervägsaltets miljöpåverkan, Resultat av jord- och grundvattenprovtagningar vid observationsområden i Skaraborgs län 1994-1996, VTI-notat, 25-1997, Swedish Road and Transport Research Institute, Linköping.
- Bäckman, L. & Folkesson, L. (1995): The Influence of de-icing salt on vegetation, groundwater and soil along Highway E20 and 48 in Skaraborg County during 1994. Linköping, Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI Meddelande 775A, 1-45.

Referencer

- Canada Environmental Protection Act, 1999 (2001): Priority Substances List Assessment Report. Road Salts. Environment Canada, Health Canada, Minister of Public Works and Government Services 2001, pp. 170.
- Carlson, B. B., Nielsen, M. Æ., Bjerg, P. L., Christensen, T. H. & Pedersen, J. K. (1998): Vejsalt genfindes i høje koncentrationer i grundvandet. Stads- og Havneingeniøren, 1998, vol. 89 (3), pp. 32-36.
- Chadwick, M. A. & Feminella, J.W. (2001): Influence of Salinity and Temperature on the Growth and Production of a Freshwater Mayfly in the Lower Mobile River, Alabama. Limnology and Oceanography, 46 (3), 532-542.
- Chambers, D. L. (2011): Increased conductivity affects corticosterone levels and prey consumption in larval amphibians. Journal of Herpetology, 45, 219-223.
- Chang, H. & Carlson, T. N. (2005): Water quality during winter storm events in Spring Creek, Pennsylvania USA. Hydrobiologia, 544, 321-332.
- Coglan, A. (1990): A salt free diet for ailing roads. New Sci., 17, 34.
- Collins, S. J. & Russell, R. W. (2009): Toxicity of road salt to Nova Scotia amphibians. Environmental Pollution, 157, 320-324.
- Connolly, J. P., Paquin, P. R., Mulligan, T. J., Wu, K. B. & Davanzo, L. (1990): Calcium Magnesium Acetate and its impacts on surface waters. In: Goldman, C.R. & Malyj, G.J. (eds): The Environmental Impact of Highway Deicing – Proceedings of a symposium held October 13, 1989 at the University of California, Davis Campus: Institute of Ecology, 33, 140-156.
- Corsi, S. R., Geis, S. W., Bowman, G., Failey, G. G. & Rutter, T. D. (2009): Aquatic Toxicity of Airfield-Pavement Deicer Materials and Implications for Airport Runoff. Environ. Sci. Technol., 43, 40-46.
- Corsi, S. R., Mericas, D. & Bowman, G. T. (2012): Oxygen Demand of Aircraft and Airfield Pavement Deicers and Alternative Freezing Point Depressants. Water Air and Soil Pollution, 223, 2447-2461.
- Corsi, S. R., Zitomer, D. H., Field, J. A. & Cancilla, D. A. (2003): Nonylphenol ethoxylates and other additives in aircraft deicers, antiicers, and waters receiving airport runoff. Environmental Science & Technology, vol. 37, 4031-4037.
- Cowi (2006): Frederikshavn Kommune. Forsyningen. Indsatsplan for grundvandsudnyttelse i OSD 4. Overudnyttelse af vandressourcen. Notat, pp. 7.
- Cunningham, M. A., Snyder, E., Yonkin, D., Ross, M. & Elsen, T. (2008): Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. Urban Ecosystems, 11 (1), 17-31.
- Czerniawska-Kusza, I., Kusza, G., Duzynski, M. (2004): Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the opole region. Environmental Toxicology, 19, 296-301.
- Davidson, A.W. (1971): The Effects of De-icing salt on roadside verges. Journal of Applied Ecology, 8, 555-561.

Referencer

- Davis, G., Krannitz, G.S. & Goldstein, M. (1992): A Reconnaissance Study of Roadside Tree injury and Decline at 17 sites in Interior B.C. Roadside Tree Injury Committee, Victoria. B.C., pp. 37.
- Demers, C. (1992): Effects of road deicing salt on aquatic invertebrates in four Adirondack streams. In: D'Itri, F. M. (ed). Chemical Deicers and the Environment Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 194–227.
- Demers, C. L. & Sage, R. W. (1990): Effects of Road Deicing Salt on Chloride Levels in Four Adirondack Streams. *Water, Air, and Soil Pollution*, 49, 369-373.
- Dixon, R. K., Rao, M. V. & Garg, V. K (1993): Salt stress effects in Vitro growth and in situ symbioses of ectomycorrhizal fungi. *Mychorrhiza*, 3, 63-68.
- D'Itri, F.M. (ed.) (1992): Chemical Deicers and the Environment. Lewes Publishers, Michigan, International Standard book number 0-87371-705-8, pp. 585.
- Dobson, M.C. (1991): De-icing Salt Damage to Trees and Shrubs. Forestry Commission Bulletin, 101, pp. 64.
- Dougherty, C. K. & Smith, G. R. (2006): Acute effects of road deicers on the tadpoles of three anurans. *Applied Herpetology*, 3, 87-93.
- Dragsted, J. (1973): Saltskader langs en jysk landevej. *Dansk Skovforenings tidsskrift*, 58(1), 72-90.
- Dragsted, J. (1979): Salt stress in Norway Spruce, Sitka Spruce, and Birch. *Meddelelser fra Skovbrugsinstituttet*, række 2, no. 7, pp. 53.
- Dragsted, J. (1988): Undersøgelse af nogle løvtræarters reaktion på saltbelastning. København, Fonden for træer og miljø. Fondsregistreringsnr. 000 233.
- Dunn, S.A. & Schenk, R.U. (1979): Alternative Highway Deicing Chemicals. Transportation Research Board Special Report, Transportation Research Board, ISSN: 0360-859X, 261-269.
- Environment Canada (2010): Risk management strategy for road salts. <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/en/rms.cfm>. Last accessed on February 8, 2010.
- Escheverri, N. (2006): Effects of road salt run-off on Cyanophyta and Tricoptera in Lake Atawapaskat, New York. *Journal of Atawapaskat Research*, 3, 27-32.
- Fay, L., Shi, X. M. (2012): Environmental Impacts of Chemicals for Snow and Ice Control: State of the Knowledge. *Water Air and Soil Pollution*, 223, 2751-2770.
- Fischel, M. (2001): Evaluation of selected deicers based on a review of the literature. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2001-15, pp. 117.
- Fitch, G. M., Smith, J. A. & Bartelt-Hunt, S. (2004): Characterization and Environmental management of Stormwater Runoff from Road-salt storage facilities. Virginia Transportation Research Council, VTRC 05-R15, pp. 20.

Referencer

- Fitch, G. M., Smith, J. A. & Clarens, A. F. (2013): Environmental Life-Cycle Assessment of Winter Maintenance Treatments for Roadways. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 139, 138-146.
- Fleck, A. M., Lacki, M. J. & Sutherland, J. (1988): Response by White Birch (*Betula papyrifera*) to Road Salt Applications at Cascade Lakes, New York. *Journal of Environmental Management*, 27, 369-377.
- Foos, A. (2003): Spatial distribution of road salt contamination of natural springs and seeps, Cuyahoga Falls, Ohio, USA. *Environmental Geology*, 44, 14-19.
- Forman, T. T. R. & Alexander, L. E. (1998): Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-231.
- French, D. W. (1959): Boulevard trees are damaged by salt applied to streets. *Minnesota Farm and Home Scientist*, 16, 9-23.
- Fritzsche, C. J. (1992): Calcium magnesium acetate deicer: an effective alternative for salt-sensitive areas. *Water Environment and Technology WAETETJ*, 4 (1), 44-51.
- Galuszka, A., Migaszewski, Z. M., Podlaski, R., Dolegowska, S., Michalik, A. (2011): The influence of chloride deicers on mineral nutrition and the health status of roadside trees in the city of Kielce, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 451-464.
- Gibbs, J. N. & Palmer, C. A. (1994): A survey of damage to roadside trees in London caused by the application of de-icing salt during the 1990/91 winter. *Agricultural Journal*, 18, 321-343.
- Gjelstrup, P. (1992): Grøftekanten. *Natur og Museum*, 31 (2), pp.31.
- Godwin, M., Hafner, S. D. & Buff, M. F. (2001): Long-term trends in sodium and chloride in the Mohawk River, New York: The effects of fifty years of road-salt application. *Environmental Pollution*, 124, 273-281.
- Goldman, C. R. & Lubnow, F. S. (1992): Seasonal influence of Calcium Magnesium Acetate on Microbial processes in 10 Northern Californian Lakes. *Resources Conservation and Recycling*, 7, 51-67.
- Goldman, C. R., Lubnow, F. S. & Elser, J. J. (1992): Environmental effects of calcium magnesium acetate on natural phytoplankton and bacterial communities in northern Californian lakes. In: D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 231-244.
- Gontier, M. (2001): Vulnerability assessment for de-icing salt contamination of private wells. AMOV-EX-2001-12.
- Gosner, K. L. & Black, I. H. (1957): The effects of acidity on the development and hatching of New Jersey frogs. *Ecology*, 38, 256-262.
- Gundersen, F. E. & Hansen, K. (2001): Nitratudvaskning fra skovrejsning og vedvarende græsarealer 1998-2001 – Drastrup-projektet. Arbejdsrapport, Skov & Landskab og Ålborg Kommune, pp.30.
- Gustafsson, J. & Nysten, T. (2000): Trends of chloride concentration in groundwater and results of risk assessment of road salting on groundwater

- areas in Finland. In: Bjerg, P.L., Engesgaard, P. & Krom, T.D. (eds): Proceedings of the International Conference on Groundwater Research, Copenhagen, 6-8 June 2000, A.A.Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 249-251.
- Hall, R., Hofstra, G. & Lumis, G. P. (1972): Effects of deicing salt on eastern white pine: foliar injury, growth suppression and seasonal changes in foliar concentrations of sodium and chloride. *Canadian Journal of Forest Research*, 2, 244-249.
- Hall, R. Hofstra, G. & Lumis, G. P. (1973): Leaf necrosis of roadside sugar maple in Ontario in relation to elemental composition of soil and leaves. *Phytopathology*, 63, 1426-1427.
- Hanes, R. E., Zelazny, L. W. & Blaser, R. E. (1970): Effects of deicing Salts on Water Quality and Biota. NCHRP Report 91, HRB, National Research Council, Washington, D. C.
- Hanes, R. E, Zelazny, L. W., Verghese, K. G., Bosshart, R. P., Carson, E. W., Blaser, R. E. & Wolf, D. D. (1976): Effects of deicing salts on plant biota and soil. Experimental phase. Transportation Research Board. National Cooperative Highway Research Program Report, 170, 1-88.
- Hansen, K., Bastrup-Birk, A., Bille-Hansen, J., Vesterdal, L. & Gundersen, P. (2003): Jordbundens rolle i skoven. In: Hansen, K, (ed): Næringsstofkredsløb i skove – Ionbalanceprojektet. *Forest and Landscape Research*, 33, pp. 300.
- Hanslin, H. M. (2011): Short-term effects of alternative de-icing chemicals on tree sapling performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 53-59.
- Haramura, T. (2007): Salinity tolerance of eggs of *Buergeria japonica* (Amphibia, Anura) inhabiting coastal areas. *Zoological Science*, 24, 820-823.
- Harless, M. L., Huckins, C. J., Grant, J. B. & Pypker, T. G. (2011): Effects of Six Chemical Deicers on Larval Wood Frogs (*Rana Sylvatica*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30, 1637-1641.
- Harris, R. F. (1980): Effect of water potential on microbial growth and activity. Special Edition #9. In: Parr, J. F. & Gardner, W. R. (eds): Water potential relations in soil microbiology. Soil Science Society of America, Madison, pp. 23-95.
- Hasselkus, E. R. & Rideout, R. B. (1979): Salt injury to Landscape Plants. University Extension Report, A2970, Madison, WI, pp. 4.
- Hedvard, T. (1972): Saltskader på vejtræer. Betænkning vedrørende skader på vejtræerne i Københavns Kommune som følge af brugen af salt i glatførebekæmpelsen om vinteren. Stadsgartnerens kontor, Københavns Kommune, pp. 137.
- Hellstén, P. P. & Nysten, T. (2003): Migration of alternative de-icers in unsaturated zone of aquifers - in vitro study. *Water Science and Technology*, 48, 45-50.
- Hellstén, P. P., Kivimäki, A-L, Miettinen, I. Y., Mäkinen, R. P., Salminen, J. M. & Nystén, T. H. (2005a): Degradation of Potassium Formate in the Unsaturated Zone of a Sandy Aquifer. *J. Environ. Qual.*, 34, 1665-1671.

Referencer

- Hellstén, P. P., Salminen, J. M., Jørgensen, K. & Nystén, T. H. (2005b): Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater De-
terioration. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 5095-5100.
- Hjerteforeningen (2007): Blodtryk, forhøjet,
<http://www.hjerteforeningen.dk/forebyggelse/risikofaktorer/salt/>. Last ac-
cessed on September 14, 2014.
- Hofstra, G. & Hall, R. (1971): Injury to roadside trees: Leaf injury on pine
and white cedar in relation to foliar levels of sodium and chloride. *Canadian
Journal of Botany*, 49, 613-622.
- Hofstra, G. & Lumis G. P. (1975): Levels of deicing salt producing injury on
apple trees. *Canadian Journal of Plant Science*, 55, 113-115.
- Hofstra, G. R., Hall, R. & Lumis, G. P. (1979): Studies of Salt-induced Dam-
age to Roadside Plants in Ontario. *J. Arboric.*, 5, 25-31.
- Holmes, F. W. & Baker, J. H. (1966): Salt injury to trees. II Sodium and
Chloride in Roadside Sugar Maples in Massachuchusetts. *Phytopathology*,
56, 633-636.
- Hopkins, G. R., French, S. S. & Brodie, E. D. (2013): Increased frequency
and severity of developmental deformities in rough-skinned newt (*Taricha
granulosa*) embryos exposed to road deicing salts (NaCl & MgCl₂). *Envi-
ronmental Pollution*, 173, 264-269.
- Hopkins, G. R., French, S. S. & Brodie, E. D. (2013): Potential for local ad-
aptation in response to an anthropogenic agent of selection: effects of road
deicing salts on amphibian embryonic survival and development. *Evolution-
ary Applications*, 6, 384-392.
- Horner, R. R. (1988): National Cooperative Highway Research Program Re-
port 305: Environmental monitoring and evaluation of calcium magnesium
acetate (CMA), Transportation Research Board, National Research Council,
Washington D. C., pp. 27.
- Howard, K. (1998): Monitoring the impact of road maintenance chemicals on
groundwater. In: Nystén T. & Suokko T. (ed): Deicing and dustbinding – risk
to aquifers. *Proc. Int. Symp.*, Helsinki, 14-16 Oct. 1998, Report 43, Finnish
Environ. Inst., Helsinki., 193-200.
- Howard, K. W. F. & Beck, P. J. (1993): Hydrochemical implications of
groundwater contamination by road de-icing chemicals. *Journal of Contami-
nant hydrology*, 12, 245-268.
- Howard, K. W. F. & Haynes, J. (1993): Groundwater contamination due to
road de-icing chemicals - salt balance implications. *Geoscience Canada*, 20,
1-8.
- Huling, E. E. & Hollocher, T. C. (1972): Groundwater Contamination by
road salt: Steady-state Concentrations in East Central Massachusetts. *Sci-
ence*, 176, 288-290.
- Höbel, S., Gerdsmeyer, J., Mellin, A. & Greven, H. (1992): The effects of two
thawing salts on thawing Salts on Enchytraiders of a Meadow Soil. *Zool.
Anz.*, 228, 107-128.

Referencer

- Ihs, A. & Gustafson, K. (1996): Kalciummagnesiumacetat (CMA) – ett alternativt halkbekämpningsmedel. Litteraturstudie. Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI meddelande, nr. 789, pp.32.
- Ingerslev, M., Skov, S., Bjergager, P. E. R. & Pedersen, L. B. (2013): Alternativ glatførebekæmpelse i København – virkning på beplantninger og jord. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, pp. 109.
- Jackson, R. B. & Jobaggy, E. G. (2005): From icy roads to salty rivers. PNAS, 102(42), 14487-14488.
- Jaquet, J., Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1998): Vejsalt, træer og buske. Stads- og Havneingeniøren, 4, 40-43.
- Jones, P. H. & Jeffrey, B. A. (1992): Environmental impact of road salting. In: D'Itrie, F. H. M. (ed): Chemical Deicers and the Environment Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 1-9
- Judd, J. H. (1970): Lake stratification caused by runoff from street deicing. Water Research, 4, 521-532.
- Karraker, N. E. & Gibbs, J. P. (2011): Road deicing salt irreversibly disrupts osmoregulation of salamander egg clutches. Environmental Pollution, 159, 833-835.
- Karraker, N. E., Gibbs, J. P. & Vonesh, J. R. (2008): Impacts of road deicing salt on the demography of vernal pool-breeding amphibians. Ecological Applications, 18, 724-734.
- Karraker, N. E. & Ruthig, G. R. (2009): Effect of road deicing salt on the susceptibility of amphibian embryos to infection by water molds. Environ. Res., 109, 40-45.
- Kaushal, S. S., Groffman, P. M., Likens, G. E., Belt, K. T., Stack, W. P., Kelly, V. R., Band, L. E. & Fisher, G. T. (2005): Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. PNAS, 102, 13517-13520.
- Keren, R. (2000): Salinity. In: Sumner ME (ed). Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, 3-25.
- Kim, S.Y. & Koretsky, C. (2011): Influence of NaCl and CaCl₂ on lake sediment biogeochemistry. Applied Geochemistry, 26, 198-201.
- Kim, S.Y. & Koretsky, C. (2013): Effects of road salt deicers on sediment biogeochemistry. Biogeochemistry, 112, 343-358.
- Kjølholt, J., Poll, C. & Jensen, F. K. (1997): Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer. Miljøprojekt nr. 355 fra Miljøstyrelsen.
- Knutsson, G., Maxe, L., Olofsson, B. & Jacks, G. (1998): The Origin of increased chloride content in the groundwater at Uplands Väsby. In: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 223-231.
- Koryak, M., Stafford, L. J., Reilly, R. J. & Magnuson, P. M. (2001): Highway Deicing Salt Runoff Events and Major Ion Concentrations along a Small Urban Stream. Journal of Freshwater Ecology, 16 (1), 125-134.

Referencer

- Kristiansen, S. M., Christensen, F. D. & Hansen, B. (2009): GEUS rapport. Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. ISBN 978-87-7871-265-3.
- LaPerriere, J. D. & Rea, C. L. (1989): Effects of calcium magnesium acetate deicer on small ponds in interior Alaska. *Lake Reservoir Manage*, 5 (2), 49-57.
- Leh, H-O (1990): Investigations on health conditions of street trees after discontinued use of de-icing salts on streets in Berlin. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 42 (9), 134-142.
- Lewis, W. M. Jr. (1999): Studies of Environmental Effects of Magnesium Chloride Deicer in Colorado (Colorado Department of Transportation, Denver), CDOT Report No. CDOT-DTD-R-99-10.
- Lewitt, J. (1972): Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, NY and London, pp. 561.
- Li, R., Moore, M., Bonham-Smith, P. C. & King, J. (2002): Overexpression of formate dehydrogenase in *Arabidopsis thaliana* resulted in plants tolerant to high concentrations of formate. *Journal of Plant Physiology*, 159, 1069-1076.
- Lundmark, A. (2005): Modeling the Impacts of deicing salt on soil water in a roadside environment. ph.D. thesis, TRITA-LWR-LIC 2024, pp. 22.
- Mason, C. F., Norton, S. A., Fernandez, I. J., & Katz, L. E. (1999): Deconstruction of the chemical effects of road salt on stream water chemistry: *J. Environ. Qual.*, 28, 82-91.
- Mattson, M. D. & Godfrey, P. J. (1994): Identification of Road Salt Contamination Using Multiple Regression and GIS. *Environmental Management*, 18 (5), 767-773.
- Mavi, M. S., Marschner, P. (2012): Drying and wetting in saline and saline-sodic soils-effects on microbial activity, biomass and dissolved organic carbon. *Plant and Soil*, 355, 51-62.
- Mavi, M. S., Marschner, P., Chittleborough, D. J., Cox, J. W., Sanderman, J. (2012a): Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology & Biochemistry*, 45, 8-13
- Mavi, M. S., Sanderman, J., Chittleborough, D. J., Cox, J. W., Marschner, P. (2012b): Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: Effect of salinity, sodicity and texture. *Science of the Total Environment*, 435, 337-344.
- McFarland, B. L. & O'Reilly, K. T. (1992): Environmental impact and toxicological characteristics of calcium magnesium acetate. In: D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 194-227.
- Meyer, F. & Grarup, A. (2003): Alternative tømidler. Fase 2 – virkning på asfalt, stål og galvaniseret stål samt miljøaspekter. Carl Bro AS.

Referencer

- Meyer, F. & Nygaard, H. (2001): Statusrapport. Alternative tømidler. Fase 1 – egenskaber, data og afprøvning. Carl Bro AS, pp. 72.
- Miljøministeriet (2002): Metoder til værdisætning af dansk vejtrafiks forurening af jord og grundvand.
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-204-0/html/helepubl.htm>. Last accessed on September 12, 2014.
- Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239-250.
- Munns, R. & Tester, M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Nygaard, P. (2000): Grundvandsovervågning 2000 – Grundvandets hovedbestanddele, Geografforlaget Aps., 17-38.
- Oberts, G., Marsalek, J., Viklander, M. (2000): Review of Water Quality impacts of winter operation of urban drainage. *Water Quality Research Journal of Canada*, 35, 781-808.
- OECD (1989): Curtailing usage of de-icing agents in winter maintenance. Road Transport Research. Organisation for Economic Co-operation and development (OECD). Paris, Frankrig, pp. 126.
- Olofsson, B. & Sandström, S. (1998): Increased salinity in private drilled wells in Sweden – natural or Man-made? In: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 75-81.
- Ostendorf, D. W., DeGroot, D.J., Pollock, S.J. & Gagnon, P.J. (1995): Aerobic acetate degradation near the capillary fringe of road soil: Field simulations from soil microcosms. *J. Environ Qual.*, 24, 334-341.
- Ostendorf, D. W., Hinlein, E. S., Rotaru, C. & DeGroot, D. J. (2006): Contamination of groundwater by outdoor highway deicing agent storage. *Journal of hydrology*, 326, 109-121
- Paludan-Müller, G., Saxe, H., Pedersen, L. B. & Randrup, T. B. (2002): Differences in salt sensitivity of four deciduous species to soil or airborne salt. *Physiologia Plantarum*, 114, 223-230.
- Pedersen, L. B. (1993): Stofkredsløb i sitkagran, rødgran og bøgebevoksninger i Danmark. Forskningsserien, Forskningscentret for Skov og Landskab (Ph.D. dissertation). The Research Series, vol. 1. Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm, pp. 252.
- Pedersen, L. B. (2004): Effekt af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat. Rapport nr. 4 om virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé og Lyngbyvejen, Intern rapport, pp. 65.
- Pedersen, L. B., Buttenschön, R. M., Friies, E. & Nielsen B. O. (2001b): Husdyrgræsningens effekt på stofkredsløb. In: Pedersen, L.B., Buttenschön, R.M. & Jensen, T.S.: Græsning på ekstensivt drevne naturarealer – effekter på stofkredsløb og naturindhold. Park- og Landskabsserien, 34, Skov & Landskab, pp. 184.

Referencer

- Pedersen, L. B. & Christensen, C. J. (1999): Effekter af vejsaltning på nordmannsgranjuletræer. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.8-2, pp. 2.
- Pedersen, L. B. & Holgersen, S. (2006): Hævet vejrabat dæmper saltskader. Grønt Miljø, 2, 10-11.
- Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2000): Saltlage er ikke nok til at redde træerne fra saltstress. Grønt Miljø, 2, 52.
- Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2007): Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen – litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter. Arbejdsrapport Skov og Landskab nr. 36-2007, Københavns Universitet, pp. 50
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M. M. (2003a): Datarapport over jordkemiske målinger på Holte Stationsvej 2002/2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab, pp. 6.
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M. M. (2003b): Rapport over tilsaltnings af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab, pp. 21.
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M., Randrup, T. B. & Krag M. (2001a): Vejsalt og beskyttelsesforanstaltninger II. (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Københavns Amt.
- Pedersen, L. B. & Knudsen, J. J. (2006): Virkning af saltværn, hævet vejrabat og afstand til vejkant. Stads- & Havneingeniøren, 1, 24-27.
- Pedersen, L. B. & Krag, M. M., (2005): Rapport over tilsaltnings af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej, 1997-2005, pp. 21.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (1999a): Halmmåtter som saltbeskyttelse. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-6, pp. 2.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (1999b): Saltskader og afstanden til vejkanterne. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-7, pp. 2.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (2000a): Effects of Road distance and Protective Measures on deicing NaCl Deposition and Soil Solution Chemistry in Planted Median Strips. Journal of Arboriculture, 26 (5), 238-243.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B., & Ingerslev, M. (2001c): Fire grunde til at bytræerne skranter. Grønt Miljø, 76-81.
- Pedersen, L. B. Randrup, T. B., Ingerslev, M., & Krag M. (2000b): Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand II (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Frederiksborg Amt.
- Pillon, P. E. & Howard, K. W. F (1987): Contamination of subsurface waters by de-icing chemicals. Water Pollution Research Journal Canada, 22, 157-171.
- Prior, G. A. & Berthouex, G. (1967): A study of the salt pollution by highway salting. Highway Research Record, 193, 8-21.

Referencer

- Ramakrishna, D. M. & Viraraghavan, T. (2005): Environmental impact of chemical deicers – a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166, 49-63.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1996): Vejsalt, træer og buske. Rapport nr. 64, Vejdirektoratet (ISBN 87-7491-757-9), pp. 69.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1997): Skadevirkninger af vejsalt på træer og buske. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-1, pp. 2.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1998): Vejsalt, træer og buske – en spørgeskemaundersøgelse af landets forvaltninger om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs gader og veje i Danmark, rapport nr. 142, Vejdirektoratet, pp.106.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1999a): Beskyttelse mod vejsalt. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-5, pp. 2.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1999b): Glatførebekæmpelse og saltskader. /178/. Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997): Bestemmelse af saltindhold i jord og planter. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-2, pp. 2.
- Rietz, D. N. & Haynes, R. J. (2003): Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.*, 35 (6), 845-854.
- Robidoux, P.Y. & Delisle, C. E. (2001): Ecotoxicological Evaluation of Three Deicers (NaCl, NaFo, CMA) – effect on terrestrial organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48, 128-139.
- Rosén, B., Lindmark, P., Knutz, Å. & Svenson, T. (1998): Municipal well along highway damaged by de'icing – a local case study at Brännebrona, Sweden. In: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 245-251.
- Rosenberry, D. O., Bukaveckas, P. A., Buso, D. C., Likens, G. E., Shapiro A. M. & Winter, T. C. (1999): Movement of road salt to a small New Hampshire lake. *Water, Air, Soil Pollution*, 109,179-206.
- Ruge, U. (1971): Recognition and prevention of de-icing damage on street trees in cities. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 23, 133-137.
- Ruge, U. & Starch, W. (1968): Damage to street trees from deicing salts. *Angewandte Botanik*, 42, 69-77.
- Rønne Vand- og Varmeforsyning A.m.b.a. (2007): Gode råd om miljø og ukrudtsmidler. http://www.rvv.dk/default_2.asp?ID=449
- Sarwar, G., Rudolph, D. L., Campbell, J. D. & Johnston, C. (2002): Field characterization of road salt impacts on groundwater resources in an urban setting, Kitchener, Ontario. 3rd Annual Joint IAH-CNC and Can. Geotech. Society Conference, Niagara Falls, Ont., October, 457-464.
- Saxe, H., Müller, G. P., Randrup, T. & Pedersen, L. B. (2000): Vejsalts optagelse i træer. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-9, pp. 2.
- Shannon, M. C. (1997): Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60, 75-120.

Referencer

- Shannon, M. C., Grieve, C. M. & Francois, L. E. (1994): Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson, R. E. (Ed.), *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker, New York, NY, 199-244.
- Shiraishi, Y., Fukusaki, E.-I. & Kobayashi, A. (2000): Formate dehydrogenase in rice plant: growth stimulation effect of formate in rice plant. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 89, 241-246.
- Sieghardt, M., Mursch-Radlgruber, E., Paoletti, E., Couenberg, E. A. M., Dimitrakopoulos, A., Rego, F., Hatzistathis, A. & Randrup, T. B. (2005): The abiotic urban environment: impact of urban growing conditions on urban vegetation. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. Schipperijn, J. (Eds), *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 281-323.
- Siver, P. A., Canavan, R. W., Field, C. K., Marsicano, L. J. & Lott, A. M. (1996): Historical changes in Connecticut lakes over a 55-year period. *Journal of Environmental Quality*, 25 (2), 334-345.
- Suuff, E. (1975): Effects of de-icing salt on woody vegetation along Minnesota roads. Technical Bulletin, 303. Forestry Series, 20, Minnesota Agricultural Experiment Station, pp. 49.
- Suuff, E. & Hong, S. G. & Wood, A. (1976): NaCl and Twig dieback Along Highways and Cold Hardiness of Highway Versus Garden Twigs. *Can. J. Bot.*, 54, 2268-2274.
- Tanner, D. Q. & Tamara, M. W. (2000): The Effects of Calcium Magnesium Acetate (CMA) Deicing Material on the Water Quality of Bear Creek, Clackamas County, Oregon, 1999. Water-Resources Investigations Report 00-4092, US Department of the Interior, US Geological survey, Portland, Oregon, 1-22.
- Thunquist, E.-L. J. (2003): Bedömning av Clkoncentration ytvatten och grundvatten till följd av vägsaltning. ph.D. thesis, TRITA-LWR-PHD 1006, Kungl tekniska Högskolan, pp. 21.
- Thunquist, E.-L. J. (2004): Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. *Science of the Total Environment*, 325, 29-37.
- Townshend, A. M. and Kwolek, W. F. (1987): Response of Selected Tree Species to Sodium Chloride. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 105, 878-883.
- Trahan, N. A., & Peterson, C. M. (2007): Factors impacting the health of roadside vegetation. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2005-12.
- Transportation Research Board (1991): Highway deicing. Comparing Salt and Calcium Magnesium Acetate. National Research Council, Washington D.C., Committee on the Comparative Costs of Rock Salt and Calcium Magnesium Acetate (CMA) for Highway Deicing, special Report 235, ISBN 0-309-05123-1, pp 163.
- Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K. & Bandyopadhyay, B. K. (2006): Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. *Biol. Fertil. Soils*, 42 (3), 273-277.

Referencer

- Vosyliénė, M. Z., Baltrėnas, P. & Kazlauskienė, A. (2006): Toxicity of Road maintenance salts to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Ekologija*, 2, 15-20.
- Watson, L. R., Bayless, E. R., Buszka, P. M. & Wilson, J. T. (2002): Effects of highway-Deicer Application on Ground-Water Quality, Northwestern Indiana. U. S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 01-4260. Prepared in cooperation with the Indiana Department of Transportation, Indianapolis, Indiana, pp. 153.
- Watson, L. R., Bayless, E. R., Buszka, P. M. & Wilson, J. T. (2002): Effects of Highway-Deicer Application on Ground-Water Quality in a Part of the Calumet Aquifer, Northwestern Indiana. U.S. Geological
- Wegner, W. & Yaggi, M. (2001): Environmental Impacts of road salt and alternatives in the New York City Watershed, *Stormwater*, 2 (5), http://www.stormh2o.com/SW/Articles/Environmental_Impacts_of_Road_Salt_and_Alternative_216.aspx. Last accessed September 9, 2014.
- Weissenhorn, I. (2002): Mycorrhiza and Salt Tolerance of Trees. EU-project MYCOREM (QLK3-1999-00097). The use of mycorrhizal fungi in phytoremediation projects. Final report of partner 9. Pius Floris Boomverzorging Nederland B.V., pp. 36.
- Westing, A. H. (1969): Plants and salts in the roadside Environment. *Phytopathology*, 59, 1174-1181.
- Wilcox, D. A. (1986): Effects of Deicing Salts on Vegetation in Pinhook Bog, Indiana. *Canadian Journal of Botany*, 64 (4), 865-874.
- Williams, D. D., Williams, N. E. & Cao, Y. (2000): Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water research*, 34 (1), 127-138.
- Winters, G., Gidley, J. & Hunt, H. (1985): Environmental Evaluation of CMA. Report FHWA-RD-84-095. FHWA, US Department of Transportation, pp. 74.
- Yuan, B. C., Li, Z. Z., Liu, H., Gao, M. & Zhang, Y. Y. (2007): Microbial biomass and activity in salt affected soils under and conditions. *Appl. Soil. Ecol.*, 35(2), 319-328.
- Yunping, X. & Zhaohui, X. (2002): Corrosion effects of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components. University of Colorado, Report no. CDOT-DTD-R-2002-4, pp. 91.
- Zelazny, L. W, Blaser, R. E. & Hanes, R. E. (1970): Effects of De-icing salts on Roadside Soils and Vegetation. *Highway Research Record*, 335, 9-12.
- Århus Amt (2005): Delrapport II. Detailkortlægning. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Århus Nord området, pp 82.

9.Samlet litteratur

- Akbar, K. F., Headley, A. D., Hale, W. H. G. & Athar, M. (2006): A comparative study of de-icing salts (sodium chloride and calcium magnesium acetate) on the growth of some roadside Plants of England. *J. Appl. Sci. Environ.*, 10, 67-71.
- Albright, M. (2005): Changes in Water Quality in an Urban Stream Following the Use of Organically Derived Deicing Products. *Lake and Reservoir Management*, 21 (1), 119-124.
- Alppivuori, K. Leppänen, A., Anila, M. & Mäkelä, K. (1995): Road traffic in winter. *Tielaitos, Finna Reports*, 57.
- Amrhein, C. Mosher, P. A. & Strong, J. E. (1993): Colloid-Assisted Transport of Trace-Metals in Roadside Soils Receiving Deicing Salts. *Soil Science Society of America Journal*, 57, 1212-1217.
- Amrhein, C. & Strong, J. E. (1990): The effect of deicing Salts on Trace Metal Mobility in Roadside Soils. *Journal of Environmental Quality*, 19, 765-772.
- Amrhein, C., Strong, J. E. & Mosher, P. A. (1992): Effect of Deicing Salts on Metal and Organic-Matter Mobilization in Roadside Soils. *Environmental Science & Technology*, 26, 703-709.
- Amundsen, C. E., Håland, S., French, H., Roseth, R. & Kitterød, N-O. (2010): Salt SMART. Environmental damage caused by road salt – a literature review. Report nr. 2587, Statens vegvesen, Norge.
- Anon, (2006): Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. BEK nr. 871 af 21/09/2001 & BEK Nr. 1664 af 14/12/2006. <http://www.lyngeoverdrevvand.dk/vandkvalitet/BEKnr871af21092001.pdf>. Last accessed on September 9, 2014.
- http://lab.mathgeek.dk/noter_files/BEK%20nr%201664%20af%20141206%20-%20vandkvalitet.pdf. Last accessed on September 9, 2014.
- AV Miljø (2005): Årsrapport 2005. Uggeløse losseplads, pp. 10.
- Balder, H. & Nierste, J. (1987): Ökologische Auswirkungen eines tausalzfreien innerstädtischen Winterdienstes. *UMvelt Bundes Amt*, 87-058, pp. 69.
- Bang, S.S. & Johnston, D. (1998): Environmental Effects of Sodium Acetate/Formate Deicer, Ice Shear™. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 35, 580-587.
- Baatrup-Birk, A., Friberg, N., Pedersen, M. L., Skriver, J., Kronvang, B. & Larsen, S.E. (2004): Anvendelse af vandrammedirektivet i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, 499, Danmarks MiljøUndersøgelser, Miljøministeriet, pp. 145.
- Bauske, B. & Goetz, D. (1993): Effects of Deicing-Salts on Heavy-Metal Mobility. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 21, 38-42.

Referencer

- Bentzen, T. R. & Thorndal, S. (2004): Numerisk modellering af vand- og stoftransport ved afvanding af motorveje. Afgangsprøjet ved Civilingeniør-uddannelsen ved Aalborg Universitet, pp. 165.
- Berkheimer, S. F. & Hanson, E. (2006): Deicing salts reduce cold hardiness and increase flower bud mortality of highbush blueberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131, 11-16.
- Bernstein, L. (1975): Effects of salinity and sodiocity on plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, 13, 295-312.
- Bernstein, L., Francois, L. E. & Clark, R. A. (1972): Salt tolerance of Ornamental Shrubs and ground covers. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 97, 550-556.
- Bernstein, N. & Kafkafi, U. (2002): Root growth under salinity stress. In: Waisel, Y., Eshel, A., Kafkafi, U. (Eds.), *Plant Roots: The Hidden Half*, 3rd ed. Marcel Dekker, Inc., New York, 787-819.
- Bernstein, N., Meiri, A. & Zilberstaine, M. (2004): Root growth of avocado is more sensitive to salinity than shoot growth. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 188-192.
- Bester, M. L., Frind, E. O., Molson, J. W. & Rudolph D. L. (2006): Numerical Investigation of Road Salt Impact on an Urban Wellfield, Ground Water, 44 (2), 165-175.
- Biernath, C., Fischer, H. & Kuzyakov, Y. (2008): Root uptake of N-containing and N-free low molecular weight organic substances by maize: a ¹⁴C/¹⁵N tracer study. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 2237-2245.
- Blasius, B. J. & Merritt, R. W. (2002): Field and laboratory investigations on the effects of road salt (NaCl) on stream macroinvertebrate communities. *Environmental Pollution*, 120, 219-231.
- Blomqvist, G. & Johansson, E. L. (1999): Airborne spreading and deposition of deicing salt a case study. *The Science of the Total Environment*, 235, 161-168.
- Bogemans, J., Neirinckx, L. & Stassart, J. M. (1989): Effect of deicing chloride salts on ion accumulation in spruce (*Picea abies* (L.) sp.), *Plant and Soil*, 113, 3-11.
- Borup, P.W., Linneballe, J. A., Pedersen, L. B. & Randrup, T. B. (2005): Patent: Skærmindretning til beskyttelse af planter mod vejsalte, støv, sand, slud m.v. March 14: PR 175830.
- Bouzille, J. B., Kerneis, E., Bonis, A. & Touzard, B. (2001): Vegetation and ecological gradients in abandoned salt pans in western France. *J. Vegetation Sci.*, 12, 269-278.
- Brod, H. (1989): Soil properties and soil ameliorative measure after application of de-icing salt (NaCl). *Zeitschrift für Vegetationstechnik*, 12, 99-105.
- Brod, H. (1993): Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen*, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1-165.

- Bryson, G. M., & Barker, A. V. (2002): Sodium accumulation in soils and plants along Massachusetts roadsides. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33 (1-2), 67-78.
- Bubeck, R. C., Diment, W. H., Deck, B. L., Baldwin, A. L. & Lipton, S. D. (1971): Runoff of Deicing Salt: Effect on Irondequoit Bay, Rochester, New York. *Science*, 172, 1128-1132.
- Burkett, A. & Gurr, N. (2004): Icy roads management with calcium magnesium acetate to meet environmental and customer expectations in New Zealand. In: Transportation Research Board (Ed.), Proc. 6th Intl. Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology. Transportation Research Circular E-C063: Snow and Ice Control Technology. SNOW04-050, 267-277.
- Bäckman, L. (1980): Vintervägsaltets miljöpåverkan, VTI Rapport, 197, National Road and Traffic Research Institute, Linköping, pp. 62.
- Bäckman, L. (1997): Vintervägsaltets miljöpåverkan, Resultat av jord- och grundvattenprovtagningar vid observationsområden i Skaraborgs län 1994-1996, VTI-notat, 25-1997, Swedish Road and Transport Research Institute, Linköping.
- Bäckman, L. & Folkesson, L. (1995): The Influence of de-icing salt on vegetation, groundwater and soil along Highway E20 and 48 in Skaraborg County during 1994. Linköping, Swedish National Road and Transport Research Institute. VTI Meddelande 775A. 1-45.
- Canada Environmental Protection Act, 1999 (2001): Priority Substances List Assessment Report. Road Salts. Environment Canada, Health Canada, Minister of Public Works and Government Services 2001, pp. 170.
- Cancilla, D. A., Baird, J. C. & Rosa, R. (2003): Detection of aircraft deicing additives in groundwater and soil samples from Fairchild Air Force Base, a small to moderate user of deicing fluids. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 70, 868-875.
- Carlson, B. B., Nielsen, M. Æ., Bjerg, P. L., Christensen, T. H. & Pedersen, J. K. (1998): Vejsalt genfindes i høje koncentrationer i grundvandet. *Stads- og Havneingeniøren*, 3, 32-36.
- Chadwick, M. A. & Feminella, J. W. (2001): Influence of Salinity and Temperature on the Growth and Production of a Freshwater Mayfly in the Lower Mobile River, Alabama. *Limnology and Oceanography*, 46 (3), 532-542.
- Chambers, D. L. (2011): Increased conductivity affects corticosterone levels and prey consumption in larval amphibians. *Journal of Herpetology*, 45, 219-223.
- Chang, H. & Carlson, T. N. (2005): Water quality during winter storm events in Spring Creek, Pennsylvania USA. *Hydrobiologia*, 544, 321-332.
- Chartzoulakis, K., Loupassaki, M., Bertaki, M. & Androulakis, I. (2002): Effects of NaCl salinity on growth, ion content and CO₂ assimilation rate of six olive cultivars. *Scientia Horticulturae*, 96, 235-247.
- Cheng, K. C. & Guthrie, T. F. (1998): Liquid Road Deicing Environment Impact. Levelton Engineering Solutions, pp. 34.

Referencer

- Chollar, B. H. (1984): Federal Highway Administration Research on Calcium Magnesium Acetate – An Alternative Deicer, *Public Roads*, 47, 113-117.
- Coglan, A. (1990): A salt free diet for ailing roads. *New Sci.*, 17, 34.
- Cohn, M. M. & Fleming, R. R. (1974): Managing snow and ice control programs. Special Report No. 42. Chicago: American Public Works Association.
- Collins, S. J. & Russell, R. W. (2009): Toxicity of road salt to Nova Scotia amphibians. *Environmental Pollution*, 157, 320-324.
- Connolly, J. P., Paquin, P. R., Mulligan, T. J., Wu, K. B. & Davanzo, L. (1990): Calcium Magnesium Acetate and its impacts on surface waters. In: Goldman, C. R. & Malyj, G. J. (eds): *The Environmental Impact of Highway Deicing – Proceedings of a symposium held October 13, 1989 at the University of California, Davis Campus: Institute of Ecology*, 33, 140-156.
- Corsi, S. R., Geis, S. W., Bowman, G., Failey, G. G. & Rutter, T. D. (2009): Aquatic Toxicity of Airfield-Pavement Deicer Materials and Implications for Airport Runoff. *Environ. Sci. Technol.*, 43, 40-46.
- Corsi, S. R., Geis, S. W., Loyo-Rosales, J. E., Rice, C. P., Sheesley, R. J., Failey, G. G. & Cancilla, D. A. (2006): Characterization of aircraft deicer and anti-icer components and toxicity in airport snowbanks and snowmelt runoff. *Environmental Science & Technology*, vol. 40, 3195-3202.
- Corsi, S. R., Mericas, D. & Bowman, G.T. (2012): Oxygen Demand of Aircraft and Airfield Pavement Deicers and Alternative Freezing Point Depressants. *Water Air and Soil Pollution*, 223, 2447-2461.
- Corsi, S. R., Zitomer, D. H., Field, J. A. & Cancilla, D. A. (2003): Nonylphenol ethoxylates and other additives in aircraft deicers, antiicers, and waters receiving airport runoff. *Environmental Science & Technology*, vol. 37, 4031-4037.
- Cowi (2006): Frederikshavn Kommune. Forsyningen. Indsatsplan for grundvandsudnyttelse i OSD 4. Overudnyttelse af vandresourcen. Notat, pp. 7.
- Cunningham, M. A., Snyder, E., Yonkin, D., Ross, M. & Elsen, T. (2008): Accumulation of deicing salts in soils in an urban environment. *Urban Ecosystems*, 11 (1), 17-31.
- Cushman, J. R., Duff, V. A., Buteau, G. H., Aust, L. B., Caldwell, N. & Lazer, W. (1991): Evaluation of Calcium Magnesium Acetate and Road Salt for Contact Hypersensitivity Potential and Dermal Irritancy in Humans. *Contact Dermatitis*, 24, 289-292.
- Czerniawska-Kusza, I., Kusza, G. & Duzynski, M. (2004): Effect of deicing salts on urban soils and health status of roadside trees in the opole region. *Environmental Toxicology*, 19, 296-301.
- Davidson, A.W. (1971): The Effects of De-icing salt on roadside verges. *Journal of Applied Ecology*, 8, 555-561.
- Davis, G., Krannitz, G.S. & Goldstein, M. (1992): A Reconnaissance Study of Roadside Tree injury and Decline at 17 sites in Interior B.C. Roadside Tree Injury Committee, Victoria. B.C., pp. 37.

- Demers, C. (1992): Effects of road deicing salt on aquatic invertebrates in four Adirondack streams. *Chemical Deicers and the Environment*, 245-251.
- Demers, C. L. & Sage, R. W. (1990): Effects of Road Deicing Salt on Chloride Levels in Four Adirondack Streams. *Water, Air, and Soil Pollution*, 49, 369-373.
- Dixon, R. K., Rao, M. V. & Garg, V. K. (1993): Salt stress affects in Vitro growth and in situ symbioses of ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, 3, 63-68.
- D'Itri, F.M. (ed.) (1992): *Chemical Deicers and the Environment*. Lewes Publishers, Michigan, International Standard book number 0-87371-705-8, pp. 585.
- Dobson, M.C. (1991): De-icing Salt Damage to Trees and Shrubs. *Forestry Commission Bulletin*, 101, pp. 64.
- Dougherty, C. K. & Smith, G. R. (2006): Acute effects of road deicers on the tadpoles of three anurans. *Applied Herpetology*, 3, 87-93.
- Dragsted, J. (1973): Saltskader langs en jysk landevej. *Dansk Skovforenings tidsskrift*, 58(1), 72-90.
- Dragsted, J. (1979): Salt stress in Norway Spruce, Sitka Spruce, and Birch. *Meddelelser fra Skovbrugsinstituttet*, række 2, no. 7, pp. 53.
- Dragsted, J. (1988): Undersøgelse af nogle løvtræarters reaktion på saltbelastning. København, Fonden for træer og miljø. Fondsregistreringsnr. 000 233.
- Dunn, S. A. & Schenk, R. U. (1979): Alternative Highway Deicing Chemicals. *Transportation Research Board Special Report*, Transportation Research Board, ISSN: 0360-859X, 261-269.
- Eaton, L. J., Hoyle, J. & King, A. (1999): Effect of deicing salt on lowbush blueberry flowering and yield. *Can. J. Plant Sci.*, 79, 125-128.
- Egebjerg Kommune (2004): Referat fra Teknik og Miljøudvalget 21. september 2004.
http://egebjerg.jirty.dk/meeting/teknikmiljo/teknikmiljo_20040921_ref.pdf.
Last accessed on September 9, 2014.
- Environment Canada (2010): Risk management strategy for road salts, <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/en/rms.cfm>, last accessed on February 8, 2010.
- Escheverri, N. (2006): Effects of road salt run-off on Cyanophyta and Tricoptera in Lake Atawapaskat, New York. *Journal of Atawapaskat Research*, 3, 27-32.
- Etana, A. & Rydberg, T. (2007): Inverkan av vägsalt (NaCl) på jordens aggregatstabilitet och risker för fosforförluster från akermark, SLU, Institutionen för Markvetenskap, Avdelningen för jordbearbetning, Uppsala.
- EU (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official L 327*; 22/12/2000; pp. 0001-0073/.

Referencer

- Eyles, N. & Howard, K. W. F. (1988): Urban landsliding caused by heavy rains: Geochemical identification of recharge waters along the Scarborough Bluffs, Toronto, Ontario. *Can. Geotech. J.*, 25, 455-466.
- Fay, L. & Shi, X. M. (2012): Environmental Impacts of Chemicals for Snow and Ice Control: State of the Knowledge. *Water Air and Soil Pollution*, 223, 2751-2770.
- Fischel, M. (2001): Evaluation of selected deicers based on a review of the literature. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2001-15, pp. 117.
- Fitch, G. M., Smith, J. A. & Bartelt-Hunt, S. (2004): Characterization and Environmental management of Stormwater Runoff from Road-salt storage facilities. Virginia Transportation Research Council, VTRC 05-R15, pp. 20.
- Fitch, G. M., Smith, J. A. & Clarens, A. F. (2013): Environmental Life-Cycle Assessment of Winter Maintenance Treatments for Roadways. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 139, 138-146.
- Fleck, A. M., Lacki, M. J. & Sutherland, J. (1988): Response by White Birch (*Betula papyrifera*) to Road Salt Applications at Cascade Lakes, New York. *Journal of Environmental Management*, 27, 369-377.
- Foos, A. (2003): Spatial distribution of road salt contamination of natural springs and seeps, Cuyahoga Falls, Ohio, USA. *Environmental Geology*, 44, 14-19.
- Forczec, S. T., Benada, O., Kofroňová, O., Sigler, K. & Matucha M. (2011): Influence of road salting on the adjacent Norway spruce (*Picea abies*) forest. *Plant Soil. Environ.*, vol. 57 (7), 344-350.
- Forman, T. T. R. & Alexander, L. E. (1998): Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 207-231.
- Frederiksberg Kommune (2005): Grundvandsplan 2005-2008. Teknisk direktorat, Miljøafdelingen, Stadslandinspektøren, pp. 48.
- Frederiksborg Amt (2003): Indsatsplan for grundvandsbeskyttelse, Frederiksværk Nord, Teknik & Miljø, pp. 18.
- French, D.W. (1959): Boulevard trees are damaged by salt applied to streets. *Minnesota Farm and Home Scientist*, 16, 9-23.
- French, H. K., Van der Zee, S. E. A. T. M. & Leijnse, A. (2001): Transport and degradation of propyleneglycol and potassium acetate in the unsaturated zone. *J. Contam. Hydrol.*, 2001, 23-48.
- Fritzsche, C. J. (1992): Calcium magnesium acetate deicer: an effective alternative for salt-sensitive areas. *Water Environment and Technology WAET&EJ*, 4(1), 44-51.
- Faarup, H. (2003): Saltskader på juletræer. *Dansk vejtidsskrift* nr. 3.
- Gales, E. J. & Vandermuelen, J. (1992): Deicing chemical use on the Michigan state highway system. In: D'Itrie, F.M. (ed): *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 135-184.

- Galuszka, A., Migaszewski, Z. M., Podlaski, R., Dolegowska, S. & Michalik, A. (2011): The influence of chloride deicers on mineral nutrition and the health status of roadside trees in the city of Kielce, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 451-464.
- Gibbs, J. N. & Palmer, C. A. (1994): A survey of damage to roadside trees in London caused by the application of de-icing salt during the 1990/91 winter. *Agricultural Journal*, 18, 321-343.
- Gjelstrup, P. (1992): Grøftekanten. *Natur og Museum*, 31 (2), pp.31.
- Godwin, M., Hafner, S. D. & Buff, M. F. (2001): Long-term trends in sodium and chloride in the Mohawk River, New York: The effects of fifty years of road-salt application. *Environmental Pollution*, 124, 273-281.
- Goldman, C. R. & Lubnow, F. S. (1992): Seasonal influence of Calcium Magnesium Acetate on Microbial processes in 10 Northern Californian Lakes. *Resources Conservation and Recycling*, 7, 51-67.
- Goldman, C. R., Lubnow, F. S. & Elser, J. J. (1992): Environmental effects of calcium magnesium acetate on natural phytoplankton and bacterial communities in northern Californian lakes. In: D'Itri, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 231–244.
- Gomez-Mestre, I., Tejedo, M., Ramayo, E. & Estepa, J. (2004): Developmental alterations and osmoregulatory physiology of a larval anuran under osmotic stress. *Physiol. Biochem. Zool.*, 77, 267-274.
- Gontier, M. (2001): Vulnerability assessment for de-icing salt contamination of private wells. AMOV-EX-2001-12.
- Gosner, K. L. & Black, I. H. (1957): The effects of acidity on the development and hatching of New Jersey frogs. *Ecology*, 38, 256-262.
- Granato, G. Church, P. E. & Stone, V. J. (1995): Mobilization of Major and Trace Constituents of Highway Runoff in Groundwater Caused by Deicing Chemical Migration. *Transportation Research Record*, 1483, 1-14.
- Grauert, M., Larsen, M. & Møllerup, M. (2011): Sedimentanalyser fra 70 regnvandsbassiner. Fokus på miljøfremmede stoffer, rapport 191. Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut.
- Green, S. M., Machin, R. & Cresser, M. S. (2008): Effects of long-term changes in soil chemistry induced by road salt applications on N transformations in roadside soils. *Environmental Pollution*, 152, 20-31.
- Groffman, P. M., Gold, A. J. & Howard, G. (1995): Hydrologic tracer effects on soil microbial activities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 478-482.
- Gundersen, Friis, E. & Hansen, K. (2001): Nitratudvaskning fra skovrejsning og vedvarende græsarealer 1998-2001 – Drastrup-projektet. Arbejdsrapport, Skov & Landskab og Ålborg Kommune, pp.30.
- Gustafsson, A. & Gabrielsson, G. (2006): Vinterdrift. Sockerprodukter i kombination med NaCl. Vägverket Produktion, pp. 48.
- Gustafsson, J. & Nysten, T. (2000): Trends of chloride concentration in groundwater and results of risk assessment of road salting on groundwater

- areas in Finland. In: Bjerg, P.L., Engesgaard, P. & Krom, T.D. (eds): Proceedings of the International Conference on Groundwater Research, Copenhagen, 6-8 June 2000, A.A.Balkema, Rotterdam, The Netherlands., 249-251.
- Hagemann, M. (2011): Molecular biology of cyanobacterial salt acclimation. *FEMS Microbiol. Rev.*, 35(1), 87-123.
- Hall, R. Hofstra, G. & Lumis, G.P. (1972): Effects of deicing salt on eastern white pine: foliar injury, growth suppression and seasonal changes in foliar concentrations of sodium and chloride. *Canadian Journal of Forest Research*, 2, 244-249.
- Hall, R. Hofstra, G. & Lumis, G. P. (1973): Leaf necrosis of roadside sugar maple in Ontario in relation to elemental composition of soil and leaves. *Phytopathology*, 63, 1426-1427.
- Hanes, R. E., Zelazny, L.W. & Blaser, R. E. (1970): Effects of deicing Salts on Water Quality and Biota. NCHRP Report 91, HRB, National Research Council, Washington, D.C.
- Hanes, R. E., Zelazny, L.W., Verghese, K. G., Bosshart, R. P., Carson, E. W., Blaser, R. E. & Wolf, D. D. (1976): Effects of deicing salts on plant biota and soil. Experimental phase. National cooperative Highway Research Program Report, 170, 1-88.
- Hansen, K., Bastrup-Birk, A., Bille-Hansen, J., Vesterdal, L. & Gundersen, P. (2003): Jordbundens rolle i skoven. In: Hansen, K, (ed): Næringsstofkredsløb i skove – Ionbalanceprojektet. *Forest and Landscape Research*, 33, pp. 300.
- Hanslin, H. M. (2011): Short-term effects of alternative de-icing chemicals on tree sapling performance. *Urban Forestry & Urban Greening*, 10, 53-59.
- Haramura, T. (2007): Salinity tolerance of eggs of *Buergeria japonica* (Amphibia, Anura) inhabiting coastal areas. *Zoological Science*, 24, 820-823.
- Harless, M. L., Huckins, C.J., Grant, J.B. & Pypker, T.G. (2011): Effects of Six Chemical Deicers on Larval Wood Frogs (*Rana Sylvatica*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30, 1637-1641.
- Harris, R. F. (1980): Effect of water potential on microbial growth and activity. Special Edition #9. In: Parr, J. F. & Gardner, W. R. (eds): Water potential relations in soil microbiology. Soil Science Society of America, Madison, pp. 23-95.
- Hart, B. T., Bailey, P., Edwards, R., Hortle, K., James, K., McMahon, A., Meredith, C. & Swadling, K. (1991): A review of the salt sensitivity of the Australian freshwater biota. *Hydrobiologia*, 210, 105-144.
- Hassan, Y., El Halim, A. O. A., Razaqpur, A. G., Bekheet, W. & Farha, M. H. (2002): Effects of runway deicers on pavement materials and mixes: Comparison with road salt. *Journal of Transportation Engineering-Asce*, 128, 385-391.
- Hasselkus, E. R. & Rideout, R. B. (1979): Salt injury to Landscape Plants. University Extension Report, A2970, Madison, WI, pp. 4.

- Hautala, E. L., Wulff, A., Oksanen, J. (1992): Effects of Deicing Salt on Visible Symptoms, Element Concentrations and Membrane Damage in 1st-Year Needles of Roadside Scots Pine (*Pinus-Sylvestris*). *Annales Botanici Fennici*, 29, 179-185.
- Hedvard, T. (1972): Saltskader på vejtræer. Betænkning vedrørende skader på vejtræerne i Københavns Kommune som følge af brugen af salt i glatførebekæmpelsen om vinteren. Stadsgartnerens kontor, Københavns Kommune, pp. 137.
- Hellstén, P. P., Kivimäki, A-L., Miettinen, I. Y., Mäkinen, R. P., Salminen, J. M. & Nystén, T. H. (2005a): Degradation of Potassium Formate in the Unsaturated Zone of a Sandy Aquifer. *J. Environ. Qual.*, 34, 1665-1671.
- Hellsten, P. P. & Nysten, T. (2003): Migration of alternative de-icers in unsaturated zone of aquifers - in vitro study. *Water Science and Technology*, 48, 45-50.
- Hellstén, P. P., Nysten, T., Salminen, J., Granlund, K., Huotari, T. & Valinkoski, V-M. (2004): Biodegradation of potassium formate in soil and groundwater. Final report of studies on alternative de-icing chemicals: MIDAS Project (in Finnish), Helsinki, Finland: Finnish Environmental Institute (SYKE).
- Hellsten, P. P., Salminen, J. M., Jørgensen, K. S. & Nysten, T. H. (2005b): Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater Deterioration. *Environmental Science and Technology*, 39(13), 5095-5100.
- Hemmingsen, T. (2012): Cost benefit analyse af alternative tømidler til glatførebekæmpelse i Danmark. En litteraturundersøgelse. Vejdirektoratet.
- Hjerteforeningen (2007): Blodtryk, forhøjet.
<http://www.hjerteforeningen.dk/forebyggelse/risikofaktorer/salt/>
- Hofstra, G. & Hall, R. (1971): Injury to roadside trees: Leaf injury on pine and white cedar in relation to foliar levels of sodium and chloride. *Canadian Journal of Botany*, 49, 613-622.
- Hofstra, G., Hall, R. & Lumis, G. P. (1979): Studies of Salt-induced Damage to Roadside Plants in Ontario. *J. Arboric*, 5, 25-31.
- Hofstra, G. & Lumis G. P. (1975): Levels of deicing salt producing injury on apple trees. *Canadian Journal of Plant Science*, 55, 113-115.
- Holmes, F. W. & Baker, J. H. (1966): Salt injury to trees. II Sodium and Chloride in Roadside Sugar Maples in Massachusetts. *Phytopathology*, 56, 633-636.
- Hopkins, G. R., French, S. S. & Brodie, E. D. (2013): Increased frequency and severity of developmental deformities in rough-skinned newt (*Taricha granulosa*) embryos exposed to road deicing salts (NaCl & MgCl₂). *Environmental Pollution*, 173, 264-269.
- Hopkins, G. R., French, S. S. & Brodie, E. D. (2013): Potential for local adaptation in response to an anthropogenic agent of selection: effects of road deicing salts on amphibian embryonic survival and development. *Evolutionary Applications*, 6, 384-392.

Referencer

- Horner, R. R. (1988): National Cooperative Highway Research Program Report 305: Environmental monitoring and evaluation of calcium magnesium acetate (CMA), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 27.
- Howard, K. (1998): Monitoring the impact of road maintenance chemicals on groundwater. In: Nystén T. & Suokko T. (ed): Deicing and dustbinding – risk to aquifers. Proc. Int. Symp., Helsinki, 14-16 Oct. 1998, Report 43, Finnish Environ. Inst., Helsinki., 193-200.
- Howard, K. W. F. & Beck, P. J. (1993): Hydrochemical implications of groundwater contamination by road deicing chemicals. *Journal of Contaminant hydrology*, 12, 245-268.
- Howard, K. W. F. & Haynes, J. (1993): Groundwater contamination due to road de-icing chemicals - salt balance implications. *Geoscience Canada*, 20, 1-8.
- Hubbs, A. H. & Boonstra, R. (1995): Study design to access the effects of highway median barriers on wildlife. Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation (MAT-94-03).
- Huling, E. E. & Hollocher, T. C. (1972): Groundwater Contamination by road salt: Steady-state Concentrations in East Central Massachusetts. *Science*, 176, 288-290.
- Höbel, S., Gerdsmeyer, J., Mellin, A. & Greven, H. (1992): The effects of two thawing salts on thawing Salts on Enchytraiders of a Meadow Soil. *Zool. Anz.*, 228, 107-128.
- Ihs, A. & Gustafson, K. (1996): Kalciummagnesiumacetat (CMA) – ett alternativt halkbekämpningsmedel. Litteraturstudie. Väg- och transportforskningsinstitutet, VTI meddelande, nr. 789, pp.32.
- Informationscenter for Miljø og Sundhed (2007): Fakta om isbekæmpelse og tømidler. <http://www.miljoeogsundhed.dk/default.aspx?node=5567>
- Ingerslev, M., Skov, S., Bjergager, P. E. R. & Pedersen, L. B. (2013): Alternativ glatførebekæmpelse i København – virkning på beplantninger og jord. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. pp. 109.
- Jackson, R. B. & Jobaggy, E. G. (2005): From icy roads to salty rivers. *PNAS*, 102 (42), 14487-14488.
- Jain, J., Olek, J., Janusz, A. & Jozwiak-Niedzwiedzka, D. (2012): Effects of Deicing Salt Solutions on Physical Properties of Pavement Concretes. *Transportation Research Record*, 69-75.
- James, K. R., Cant, B. & Ryan, T. (2003): Responses of freshwater biota to rising salinity levels and implications for saline water management: a review. *Aust. J. Bot.*, 51, 703-713.
- Jaquet, J, Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1998): Vejsalt, træer og buske. *Stads- og havneingeniøren*, 4, 40-43.

- Jones, P. H. & Jeffrey, B. A. (1992): Environmental impact of road salting. In: D'Itri, F.H.M. (ed): Chemical Deicers and the Environment. Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 1-9.
- Jones, P. H., Jeffrey, B. A., Watler, P. K. & Hutchon, H. (1992): Environmental impact of road salting. In: D'Itri, F. H. M. (ed.): Chemical Deicers and the Environment. Boca Raton: Lewis Publishers, 1-116.
- Judd, J. H. (1970): Lake stratification caused by runoff from street deicing. *Water Research*, 4, 521-532.
- Judd, K. E., Adams, H. E., Bosch, N. S., Kostrzewski, J. M., Scott, C. E., Schultz, B. M., Wang, D. H. & Kling, G. W. (2005): A Case History: Effects of Mixing Regime on Nutrient Dynamics and Community Structure in Third Sister Lake, Michigan During Late Winter and Early Spring 2003. *Lake and Reservoir Management* 21(3), 316-329.
- Juhler, R., Jacobsen, O.S., Larsen, C.L., Nilsson B. & van deer Keur, P. (2004): Afklaringsprojekt om nedsivning af husspildevand, Danva, ISBN 87-90455-44-4, pp. 66.
- Karraker, N. E. (2007b): Are embryonic and larval green frogs (*Rana clamitans*) insensitive to road deicing salt? *Herpetol. Conserv. Biol.*, 2, 35-41.
- Karraker, N. E. (2007): Investigation of the amphibian decline phenomenon: Novel small-scale factors and a large-scale overview. PhD thesis. State University of New York, Syracuse, NY, USA.
- Karraker, N. E. & Gibbs, J. P. (2011): Road deicing salt irreversibly disrupts osmoregulation of salamander egg clutches. *Environmental Pollution*, 159, 833-835.
- Karraker, N. E., Gibbs, J. P. & Vonesh, J. R. (2008): Impacts of road deicing salt on the demography of vernal pool-breeding amphibians. *Ecological Applications*, 18, 724-734.
- Karraker, N. E. & Ruthig, G. R. (2009): Effect of road deicing salt on the susceptibility of amphibian embryos to infection by water molds. *Environ. Res.*, 109, 40-45.
- Kaushal S.S., Groffman, P.M., Likens, G.E., Belt, K.T., Stack, W.P., Kelly, V.R., Band, L.E. & Fisher, G.T. (2005): Increased salinization of fresh water in the northeastern United States. *PNAS*, 102, 13517-13520.
- Kelsey, P.D. & Hootman, R.G. (1992): Deicing dispersion and effects on vegetation along highways. Case study: Deicing salt deposition on the Morton Arboretum. In: D'Itri, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment* Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, pp. 254-227.
- Kelting, D. L. & Laxson, C. L. (2010): Review of Effects and Costs of Road De-icing with Recommendations for Winter Road Management in the Adirondack Park. Watershed Institute Report nr. AWI2010-01. Paul Smith's College, February 2010, pp. 76.
- Kemira (2007): Clearway deicers. The fast and effective way to melt ice and snow, pp 10.

Referencer

- Keren, R. (2000): Salinity. In: Sumner ME (ed) Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, pp. 3-25.
- Ketcham, S. A., Minsk, L. D., Blackburn, R. R. & Fleege, E. J. (1996): Manual of practice for an effective anti-icing program: a guide for highway winter maintenance personnel. Publication No. FHWA-RD-9-202. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory.
- Kim, S.Y. & Koretsky, C. (2011): Influence of NaCl and CaCl₂ on lake sediment biogeochemistry. *Applied Geochemistry*, 26, 198-201.
- Kim, S.Y. & Koretsky, C. (2013): Effects of road salt deicers on sediment biogeochemistry. *Biogeochemistry*, 112, 343-358.
- Kjølholt, J., Poll, C & Jensen, F.K. (1997): Miljøfremmede stoffer i overfladeafstrømning fra befæstede arealer. Miljøprojekt nr. 355 fra Miljøstyrelsen.
- Knutsson, G., Maxe, L., Olofsson, B. & Jacks, G. (1998): The Origin of increased chloride content in the groundwater at Upplands Väsby. I: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 223-231.
- Koretsky, C. M., MacLeod, A., Sibert, R. J. & Snyder, C. (2012): Redox Stratification and Salinization of Three Kettle Lakes in Southwest Michigan, USA. *Water Air Soil Pollut.*, 223, 1415-1427.
- Koryak, M., Stafford, L. J., Reilly, R. J. & Magnuson, P. M. (2001): Highway Deicing Salt Runoff Events and Major Ion Concentrations along a Small Urban Stream. *Journal of Freshwater Ecology*, 16 (1), 125-134.
- Kristiansen, S. M., Christensen, F. D. & Hansen, B. (2009): GEUS rapport. Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. ISBN 978-87-7871-265-3.
- Labadia, C.F. & Buttle, J.M. (1996): Road salt accumulation in highway snow banks and transport through the unsaturated zone of the Oak Ridges Moraine, southern Ontario. *Hydrological Processes*, 10, 1575-1589.
- Landbrugsavisen (2010): Tjek hydranter og markkanter. Nr. 3, Fredag d. 26. marts.
- Landbrugsavisen (2012): Hver tiende hvedemark er sået om. Nr. 4, Fredag d. 24. april.
- LaPerriere, J. D. & Rea, C. L. (1989): Effects of calcium magnesium acetate deicer on small ponds in interior Alaska. *Lake and Reservoir Management*, 5(2), 49-57.
- Legislative Transportation Committee (2001): Performance Monitoring of the 1999-2001 Transportation Appropriation Act, Executive summary, State of Washington, pp. 17.
- Leh, H-O. (1990): Investigations on health conditions of street trees after discontinued use of de-icing salts on streets in Berlin. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, 42(9), 134-142.
- Lewis, W. M., Jr. (1999): Studies of Environmental Effects of Magnesium Chloride Deicer in Colorado (Colorado Department of Transportation, Denver), CDOT Report No. CDOT-DTD-R-99-10.

- Lewitt, J. (1972): Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, NY and London, pp. 561.
- Li, R., Moore, M., Bonham-Smith, P. C. & King, J. (2002): Overexpression of formate dehydrogenase in *Arabidopsis thaliana* resulted in plants tolerant to high concentrations of formate. *Journal of Plant Physiology*, 159, 1069-1076.
- Lofgren, S. (2001): The chemical effects of deicing salt on soil and stream water of five catchments in Southeast Sweden. *Water Air Soil Poll.*, 130, 863-868.
- Lundmark, A. (2003): Predicting environmental impact of deicing salt, a modeling approach. Dept. of Land and Water Resources Engineering, KTH. Report 2003-10-23.
- Lundmark, A. (2005): Modelling the Impacts of deicing salt on soil water in a roadside environment. ph.D. thesis, TRITA-LWR-LIC 2024, pp. 22.
- Mangold, T. (2000): Road salt use for Winter Maintenance. A Review of Impacts, Alternatives, and Recommendations for the St. Paul Campus Storm-water Management Plan.
- Maskinbladet (2010): Så vårbyg i saltsvidningerne. Nr.474, pp. 46.
- Mason, C. F., Norton, S. A., Fernandez, I. J. & Katz, L. E. (1999): Deconstruction of the chemical effects of road salt on stream water chemistry. *J. Environ. Qual.*, 28(1), 82-91.
- Mattson, M. D. & Godfrey, P. J. (1994): Identification of Road Salt Contamination Using Multiple Regression and GIS. *Environmental Management*, 18 (5), 767-773.
- Mavi, M. S. & Marschner, P. (2012b): Drying and wetting in saline and saline-sodic soils-effects on microbial activity, biomass and dissolved organic carbon. *Plant and Soil*, 355, 51-62.
- Mavi, M. S., Marschner, P., Chittleborough, D. J., Cox, J. W. & Sanderman, J. (2012a): Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology & Biochemistry*, 45, 8-13
- Mavi, M. S., Sanderman, J., Chittleborough, D. J., Cox, J. W. & Marschner, P. (2012c): Sorption of dissolved organic matter in salt-affected soils: Effect of salinity, sodicity and texture. *Science of the Total Environment*, 435, 337-344.
- Mayer, T., Rochfort, Q., Borgmann, U. & Snodgrass, W. (2008): Geochemistry and toxicity of sediment porewater in a salt-impacted urban stormwater detention pond. *Environ. Pollut.*, 156, 143-151.
- McFarland, B. L. & O', Reilly, K. T. (1992): Environmental impact and toxicological characteristics of calcium magnesium acetate. In: D'Itrie, F. M. (ed). *Chemical Deicers and the Environment*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishing, 194-227.

Referencer

- Menzies, T. R. (1992): Overview of National-Research-Council Study on the Comparative Costs of Using Rock Salt and CMA for Highway Deicing. *Resources Conservation and Recycling*, 7, 43-50.
- Meyer, F. & Grarup, A. (2003): Alternative tømidler. Fase 2 – virkning på asfalt, stål og galvaniseret stål samt miljøaspekter. Carl Bro AS.
- Meyer, F. & Nygaard, H. (2001): Statusrapport. Alternative tømidler. Fase 1 – egenskaber, data og afprøvning. Carl Bro AS, pp.72.
- Miklovic, S. & Galatowitsch, S. (2005): Effect of NaCl and *Typha angustifolia* L. on marsh community establishment: a greenhouse study. *Wetlands*, 24(2), 420-429.
- Miljøministeriet (2002): Metoder til værdisætning af dansk vejtrafiks forurening af jord og grundvand.
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2002/87-7972-204-0/html/helepubl.htm>. Last accessed on September 12, 2014.
- Miljøstyrelsen (2006): Evaluering af Program for renere produkter – Bilagsrapport.
<http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?pg=http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7052-089-5/html/kap01.htm>. Last accessed on September 9, 2014.
- Miller, B. K. & Litvaitis, J. A. (1992): Use of roadside salt licks by moose, *Alces alces*, in northern New Hampshire. *Can. Field-Nat*, 106, 112-117.
- Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 239-250.
- Munns, R. & Tester, M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Murray, D. M. & Ernst, U. F. W. (1976): An Economical Analysis of the Environmental impact of Highway Deicing, U. S. Environmental Protecting Agency, EPA-800/2-76-1 05 May 1976.
- Möller, S. (2004): Ersättningsmodell för vinterväghållning. VTI-rapport, nr. 367.
- Nelson, P. N., Barzegar, A. R. & Oades, J. M. (1997): Sodicity and caly type: influence on decomposition of added organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 61, 1052-1057.
- Norrström, A. C. (2005): Metal mobility by de-icing salt from an infiltration trench for highway runoff. *Appl. Geochem.*, 20, 1907-1919.
- Norrström, A. C. & Bergstedt, E. (2001): The Impact of Road De-Icing Salts (NaCl) on Colloid Dispersion and Base Cation Pools in Roadside Soils. *Water Air Soil Poll.*, 127, 281-289.
- Norrström, A. C., Jacks, G. (1998): Concentration and fractionation of heavy metals in roadside soils receiving de-icing salts. *Sci. Total Environ.*, 218, 161-174.

- Novotny, V., Smith, D., Kuemmel, D., Mastriano, T. & Bartosova (1999): Urban and highway snowmelt: Minimizing the impact on receiving water. Project 94-IRM-2. Water Environment Foundation, Alexandria, VA.
- Nygaard, P. (2000): Grundvandsovervågning 2000 – Grundvandets hovedbestanddele, Geografforlaget Aps., 17-38.
- Oberts, G., Marsalek, J. & Viklander, M. (2000): Review of Water Quality impacts of winter operation of urban drainage. Water Quality Research Journal of Canada, 35, 781-808.
- OECD (1989): Curtailing usage of de-icing agents in winter maintenance. Road Transport Research. Organisation for Economic Co.operation and development (OECD). Paris, Frankrig, pp. 126.
- Office of Water, Regulations, and Standards, Criteria and Standards Division (1988): Ambient Water Quality Criteria for Chloride (Environmental Protection Agency, Washington, DC), EPA Pub, No. 440588001.
- Olofsson, B. & Sandström, S. (1998): Increased salinity in private drilled wells in Sweden – natural or Man-made? I: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report, 43, 75-81.
- Ostendorf, D. W., DeGroot, D. J., Pollock, S. J. & Gagnon, P. J. (1995): Aerobic acetate degradation near the capillary fringe of road soil: Field simulations from soil microcosms. J. Environ Qual., 24, 334-341.
- Ostendorf, D. W., Hinlein, E. S., Rotaru, C. & DeGroot, D. J. (2006): Contamination of groundwater by outdoor highway deicing agent storage. Journal of hydrology, 326, 109-121
- Paludan-Müller, G., Saxe, H., Pedersen, L. B. & Randrup, T. B. (2002): Differences in salt sensitivity of four deciduous species to soil or airborne salt. Physiologia Plantarum, 114, 223-230.
- Panno, S. V., Hackley, K. C., Greenberg, S. E., Krapac, I. G., Landsberger, S. & O'Kelly, D. J. (2006): Characterization and identification of Na-Cl Sources in Ground Water. Ground Water, 44 (2), 176-187.
- Panno, S. V., Hackley, K. C., Hwang, H. H., Greenberg, S., Krapac, I. G., Landsberger, S. & O'Kelly, D. J. (2002): Source identification of sodium and chloride contamination in natural waters: Preliminary results. In: Proceedings of the 12th Annual Conference of the Illinois Groundwater Consortium. www.siu.edu/orda/igc/index.html. April 22, 2002, Makanda, IL.
- Paul, M. J. & Meyer, J. L. (2001): Streams in the urban landscape. Annu. Rev. Ecol. Syst., 32, 333-365.
- Pedersen, L. B. (1992): Throughfall chemistry of sitka Spruce Stands as Influenced by Tree Spacing. Scandinavian Journal of Forest Research, 7, 433-444.
- Pedersen, L. B. (1993): Stofkredsløb i sitkagran, rødgran og bøgebevoksninger i Danmark. Forskningsserien, Forskningscentret for Skov og Landskab (Ph.D. dissertation). The Research Series, Vol. 1. Danish Forest and Landscape Research Institute, Hørsholm, pp. 252.

Referencer

- Pedersen, L. B. (2004): Effekt af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat. Rapport nr. 4 om virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé og Lyngbyvejen, Intern rapport, pp 65.
- Pedersen, L. B. (2006a): Reduktion af saltbelastning– forsøg med hævede vejrabatter, saltværn og afstand mellem vejkant og planter, Videnblade Park og Landskab, 3, 2-7.
- Pedersen, L. B. (2006b): Anvendelse af alternative tømidler i Københavns Kommunes vintertjeneste. Delprojekt: Virkning på beplantninger og jord.
- Pedersen, L.B. & Bille-Hansen, J. (1995): Effects of Airborne Sea Salts on Soil Water Acidification and Leaching of Aluminium in Different Forest Ecosystems in Denmark. *Plant and Soil*, 168-169, 365-372.
- Pedersen, L.B., Buttenschön, R.M., Friies, E. & Nielsen B.O. (2001b): Husdyrgræsningens effekt på stofkredsløb. I: Pedersen, L.B., Buttenschön, R.M. & Jensen, T.S.: Græsning på ekstensivt drevne naturarealer – effekter på stofkredsløb og naturindhold. *Park- og Landskabsserien*, 34, Skov & Landskab, pp. 184.
- Pedersen, L. B. & Christensen, C. J. (1999): Effekter af vejsaltning på nordmannsgranjuletræer. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.8-2, pp.2.
- Pedersen, L. B. & Holgersen, S. (2006): Hævet vejrabat dæmper saltskader. *Grønt Miljø*, 2, 10-11.
- Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2000): Saltlage er ikke nok til at redde træerne fra saltstress. *Grønt Miljø*, 2, 52.
- Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2007): Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen. Arbejdsrapport nr. 36, Skov & Landskab, Hørsholm, 2002. pp. 131.
- Pedersen, L. B. & Ingerslev, M. (2007): Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen – litteraturundersøgelse over miljøeffekter, med særligt henblik på jord og planter. Arbejdsrapport Skov og Landskab nr. 36-2007, Københavns Universitet, pp. 50.
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M. M. (2003a): Datarapport over jordkemiske målinger på Holte Stationsvej 2002/2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab, pp. 6.
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M. M. (2003b): Rapport over tilsaltnings af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab, pp. 21.
- Pedersen, L. B., Ingerslev, M., Randrup, T. B. & Krag M. (2001a): Vejsalt og beskyttelsesforanstaltninger II. (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Københavns Amt.
- Pedersen, L. B. & Knudsen, J. J. (2006): Virkning af saltværn, hævet vejrabat og afstand til vejkant. *Stads & havneingeniøren*, 1, 24-27.
- Pedersen, L. B. & Krag, M. M. (2005): Rapport over tilsaltnings af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej, 1997-2005, pp. 21.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (1999a): Halmmåtter som saltbeskyttelse. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-6, pp. 2.

- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (1999b): Saltskader og afstanden til vejkanterne. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-7, pp. 2.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (2000a): Effects of Road distance and Protective Measures on deicing NaCl Deposition and Soil Solution Chemistry in Planted Median Strips. *Journal of Arboriculture*, 26(5), 238-243.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B. & Ingerslev, M. (2001c): Fire grunde til at bytræerne skranter. *Grønt Miljø*, 76-81.
- Pedersen, L. B., Randrup, T. B., Ingerslev, M. & Krag, M. (2000b): Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand II (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Frederiksborg Amt.
- Peinemann, N., Guggenberger, G. & Zech, W. (2005): Soil organic matter and its lignin component in surface horizons of salt-affected soils of the Argentinian Pampa. *Catena*, 60, 113-128.
- Pillon, P. E. & Howard, K. W. F (1987): Contamination of subsurface waters by de-icing chemicals. *Water Pollution Research Journal Canada*, 22, 157-171.
- Poulsen, I-L., Terkildsen, N-K. & Mogensen, A. (2003): Grundvandsatlas for Frederiksborg Amt. Hillerød: Frederiksborg Amt, Teknik & Miljø, 33.
- Prior, G. A. & Berthouex, G. (1967): A study of the salt pollution by highway salting. *Highway Research Record*, 193, 8-21.
- Public Sector Consultants (1993): The use of selected de-icing materials on Michigan roads: environmental and economic impacts. Prepared for the Michigan Department of Transportation.
http://www.michigan.gov/mdot/0,1607,7-151-9622_11045-57246-,00-html, last accessed on January 19, 2010.
- Qadir, M. & Schubert, S. (2002): Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degrad Dev.*, 13, 275-294.
- Ramakrishna, D. M. & Viraraghavan, T. (2005): Environmental impact of chemical deicers – a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 166, 49-63.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1996): Vejsalt, træer og buske. En litteraturundersøgelse om NaCl's effekter på vedplanter langs veje. Rapport nr. 64, Vejdirektoratet (ISBN 87-7491-757-9), pp. 69.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1997): Bestemmelse af saltindhold i jord og planter. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-2, pp. 2.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1997): Skadevirkninger af vejsalt på træer og buske. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-1, pp. 2.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1998): Vejsalt, træer og buske – en spørgeskemaundersøgelse af landets forvaltninger om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs gader og veje i Danmark, rapport nr. 142, Vejdirektoratet, pp.106.
- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1999a): Beskyttelse mod vejsalt. Videnblade Park- og Landskabsserien, 5.23-5, pp. 2.

Referencer

- Randrup, T. B. & Pedersen, L. B. (1999b): Glatførebekæmpelse og saltskader. /178/.
- Richburg, J. A., Patterson, W. A., III, & Lowenstein, F. (2001): Effects of road salt and *Phragmites australis* invasion on the vegetation of a western Massachusetts calcareous lake-basin fen. *Wetlands*, 21, 247-255.
- Rietz, D. N. & Haynes, R. J. (2003): Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biol. Biochem.*, 35(6), 845-854.
- Robidoux, P. Y. & Delisle, C. E. (2001): Ecotoxicological evaluation of three deicers (NaCl, NaFo, CMA) – effet on terrestrial organisms. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48(2), 128-139.
- Rosén, B., Lindmark, P., Knutz, Å. & Svenson, T. (1998): Municipal well along highway damaged by de'icing – a local case study at Brännebrona, Sweden. In: Nysten, T. & Sukko, T.: Deicing and dustbinding – risk to aquifers, *Proceedings, Finnish Environment Institute, Helsinki, NHP Report*, 43, 245-251.
- Rosenberry, D. O., Bukaveckas, P. A., Buso, D. C., Likens, G. E., Shapiro, A. M. & Winter, T. C. (1999): Movement of road salt to a small New Hampshire lake. *Water, Air, Soil Pollution*, 109, 179-206.
- Ruge, U. (1971): Recognition and prevention of de-icing damage on street trees in cities. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 23, 133-137.
- Ruge, U. & Starch, W. (1968): Damage to street trees from deicing salts. *Angewandte Botanik*, 42, 69-77.
- Salminen JM, Nystén TH, Tuominen SM (2011) Review of approaches to reducing adverse impacts of road deicing on groundwater in Finland. *Water Quality Research Journal of Canada* 46: 166-173
- Salminen, J. M., Nysten, T. H. & Tuominen, S. M. (2011): Review of approaches to reducing adverse impacts of road deicing on groundwater in Finland. *Water Quality Research Journal of Canada*, 46, 166-173.
- Sarwar, G., Rudolph, D. L., Campbell, J. D. & Johnston, C. (2002): Field characterization of road salt impacts on groundwater resources in an urban setting, Kitchener, Ontario. 3rd Annual Joint IAH-CNC and Can. Geotech. Society Conference, Niagara Falls, Ont., October, 457-464.
- Saxe, H., Müller, G. P., Randrup, T. & Pedersen, L. B. (2000): Vejsalts optagelse i træer. *Videnblade Park- og Landskabsserien*, 5.23-9, pp. 2.
- Shainberg, I. & Letey, J. (1984): Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia*, 52, 1-57.
- Shannon, M. C. (1997): Adaptation of plants to salinity. *Advances in Agronomy*, 60, 75-120.
- Shannon, M. C., Grieve, C. M. & Francois, L. E. (1994): Whole-plant response to salinity. In: Wilkinson, R. E. (Ed.), *Plant-Environment Interactions*. Marcel Dekker, New York, NY, 199-244.

- Shiraishi, Y., Fukusaki, E.-I. & Kobayashi, A. (2000): Formate dehydrogenase in rice plant: growth stimulation effect of formate in rice plant. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 89, 241-246.
- Shi, X., Fay, L., Gallaway, C., Volkening, K., Peterson, M. M., Pan, T., Creighton, A., Lawlor, C., Mumma, S., Liu, Y. & Nguyen, T. A. (2009): Evaluation of alternative anti-icing and deicing compounds using sodium chloride and magnesium chloride as baseline deicers – phase I. Colorado department of transportation DTD applied research and innovation branch.
- Sieghardt, M., Mursch-Radlgruber, E., Paoletti, E., Couenberg, E. A. M., Dimitrakopoulos, A., Rego, F., Hatzistathis, A. & Randrup, T. B. (2005): The abiotic urban environment: impact of urban growing conditions on urban vegetation. In: Konijnendijk, C.C., Nilsson, K., Randrup, T.B. Schipperijn, J. (Eds), *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 281-323.
- Sierra Legal defence fond & Riversides (2006): A low salt diet for Ontario's Roads and Rivers. ISBN 0-9780145-0-2, pp. 40.
- SINTEF Samferdsel og Vegdirektoratet (1995): Salting og trafikksikkerhet. Del 1: Før/etterundersøkelser av saltingens effekt på personskadeulykker. Trondheim, Oslo. MITRA rapport 02/95.
- SINTEF Samferdsel og Vegdirektoratet (1995): Salting og trafikksikkerhet. Del 2: Sammenlikning av ulykkesfrekvens på saltet og usaltet veg. Saltningens effekt på kjørefart. Trondheim, Oslo. MITRA rapport 03/95.
- Siver, P. A., Canavan, R. W., Field, C. K., Marsicano, L. J. & Lott, A. M. (1996): Historical changes in Connecticut lakes over a 55-year period. *Journal of Environmental Quality*, 25 (2), 334-345.
- Statens Vegvesen. (2012): Salt SMART, sluttrapprt nr. 92. Statens vegvesen, Vegdirektoratet. Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen, Norge.
- Skoglund, J. (1995): Falsk trygghed? Våre veger, 8, 22. årgang, 1-9.
- Spotts, R. A., Altman, J. & Staley, J. M. (1972): Soil salinity related to ponderosa pine tipburn. *Phytopathology*, 62, 705-708.
- Steele, M. K. & Aitkenhead-Peterson, J. A. (2013): Salt impacts on organic carbon and nitrogen leaching from senesced vegetation. *Biogeochemistry*, 112, 245-259.
- Sucoff, E. (1975b): Effect of deicing salt on Woody Vegetation Along Minnesota Roads. Minn. Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 303, University of Minnesota, MN.
- Sucoff, E., Hong, S. G. & Wood, A. (1976): NaCl and Twig dieback Along Highways and Cold Hardiness of Highway Versus Garden Twigs. *Can. J. Bot.*, 54, 2268-2274.
- Sumner, M. E. (1993): Sodic soils – new perspectives. *Aust. J. Soil. Res.*, 31(6), 683-750.
- Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J. P., Bradshaw, E., Skovgaard, H. & Grünfeld, S. (2003): Vandrammedirektivet og danske søer. Del 1 – Søtyper,

- referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser. Faglig rapport fra DMU nr. 475, pp. 142.
- Tanner, D. Q. & Tamara, M. W. (2000): The Effects of Calcium Magnesium Acetate (CMA) Deicing Material on the Water Quality of Bear Creek, Clackamas County, Oregon, 1999. Water-Resources Investigations Report 00-4092, US Department of the Interior, US Geological survey, Portland, Oregon, pp. 1-22.
- Thunquist, E-L. J. (2003): Bedömning av Clkoncentration ytvatten och grundvatten till följd av vägsaltning. ph.D. thesis, TRITA-LWR-PHD 1006, Kungl tekniska Högskolan, pp. 21.
- Thunqvist, E-L. (2004): Regional increase of mean chloride concentration in water due to the application of deicing salt. Science of the Total Environment, 325, 29-37.
- Tiquia, S. M., Davis, D., Hadid, H., Kasparian, S., Ismail, M., Sahly, R., Shim, J., Singh, S. & Murray, K. S. (2007): Halophilic and halotolerant bacteria from river waters and shallow groundwater along the Rouge River of southeastern Michigan. Environ. Technol., 28, 297-307.
- Townshend, A. M. & Kwolek, W. F. (1987): Response of Selected Tree Species to Sodium Chloride. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 105, 878-883.
- Trahan, N. A. & Peterson, C. M. (2007): Factors impacting the health of roadside vegetation. Colorado Department of Transportation Research Branch. Report No. CDOT-DTD-R-2005-12.
- Trainer, D. O. & Karstad, L. (1960): Salt poisoning in Wisconsin wildlife. J. Am. Vet. Med. Assoc, 13, 614-617.
- Transportation Research Board (TRB) (1991): Highway deicing. Comparing Salt and Calcium Magnesium Acetate. National Research Council, Washington D. C., Committee on the Comparative Costs of Rock Salt and Calcium Magnesium Acetate (CMA) for Highway Deicing, special Report 235., ISBN 0-309-05123-1, pp. 163.
- Tripathi, S., Kumari, S., Chakraborty, A., Gupta, A., Chakrabarti, K. & Bandyopadhyay, B. K. (2006): Microbial biomass and its activities in salt-affected coastal soils. Biol. Fertil. Soils, 42(3), 273-277.
- Tvedt, T., Randrup, T. B., Pedersen, L. B. & Glusted, S. (2001): Planter og Vejsalt. Vejdirektoratet og Skov & Landskab, ISBN 87- 7903-119-6, 1-20.
- Vej og Park (2004): Miljøreddegørelse 2003, pp. 60.
- Vejdirektoratet (2006): Ny højklasset vej i Frederikssundfingeren. http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/218/rapport309.pdf. Last accessed on September 12, 2014.
- Viklander, M., Marsalek, J., Malmquist, P. A. & Watt, W. E. (2003): Urban drainage and highway runoff in cold climates: conference overview. Water Science and Technology, 48, 1-10.
- Vollertsen, J., Hvidtved-Jacobsen, T. & Nielsen, A. H. (2012): Større anlæg til overfladenedsivning af separat regnvand. Baggrundsrapport. Aalborg Uni-

versitet, Danmarks Tekniske Universitet, Teknologisk Institut & Orbicon A/S.

Vosylienė, M. Z., Baltrėnas, P. & Kazlauskienė, A. (2006): Toxicity of Road maintenance salts to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Ekologija*, 2, 15-20.

Warrington, P. D. (1998): Roadsalt and winter maintenance for British Columbia municipalities: best management practices to protect water quality. Ministry of Water, Land and Air Protection.
<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/bmps/roadsalt.html>. Last accessed on January 19, 2010.

Watson, L. R., Bayless E. R., Buszka P. M. & Wilson J. T. (2002): Effects of highway-Deicer Application on Ground-Water Quality, Northwestern Indiana. U. S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report 01-4260. Prepared in cooperation with the Indiana Department of Transportation, Indianapolis, Indiana, pp. 153.

Wegner, W. & Yaggi, M. (2001): Environmental Impacts of road salt and alternatives in the New York City Watershed, *Stormwater*, 2 (5),
http://www.stormh2o.com/SW/Articles/Environmental_Impacts_of_Road_Salt_and_Alternative_216.aspx. Last accessed September 9, 2014.

Weissenhorn, I. (2002): Mycorrhiza and Salt Tolerance of Trees. EU-project MYCOREM (QLK3-1999-00097). The use of mycorrhizal fungi in phytoremediation projects. Final report of partner 9. Pius Floris Boomverzorging Nederland B.V., pp. 36.

Westing, A. H. (1969): Plants and salts in the roadside Environment. *Phytopathology*, 59, 1174-1181.

Wilcox, D. A. (1986): Effects of Deicing Salts on Vegetation in Pinhook Bog, Indiana. *Canadian Journal of Botany*, 64 (4), 865-874.

Wilcox, D. A. & Andrus, R. E. (1987): The role of *Sphagnum fimbriatum* in secondary succession in a road salt impacted bog. *Can. J. Bot.*, 65, 2270-2275.

Williams, D. D., Williams, N. E. & Cao, Y. (2000): Road salt contamination of groundwater in a major metropolitan area and development of a biological index to monitor its impact. *Water research*, 34 (1), 127-138.

Winters, G., Gidley, J. & Hunt, H. (1985): Environmental Evaluation of CMA. Report FHWA-RD-84-095, FHWA, USA, pp. 113.

Winters, G., Gidley, J. & Hunt, H. (1985): Environmental Evaluation of CMA. Report FHWA-RD-84-095, FHWA, US Department of Transportation, pp. 74.

Yuan, B. C., Li, Z. Z., Liu, H., Gao, M. & Zhang, Y. Y. (2007): Microbial biomass and activity in salt affected soils under and conditions. *Appl. Soil. Ecol.*, 35(2), 319-328.

Yunping, X. & Zhaohui, X. (2002): Corrosion effects of Magnesium Chloride and Sodium Chloride on Automobile Components. University of Colorado, Report no. CDOT-DTD-R-2002-4, pp. 91.

Referencer

- Zelazny, L.W, Blaser, R. E. & Hanes, R.E. (1970): Effects of De-icing salts on Roadside Soils and Vegetation. Highway Research Record, 335, 9-12.
- Öberg, G. (2006): Tema Vintermodell. Fordonskorrosion beroende på vintervägsaltning. Kunskapssammanställning. VTI notat 24-2006, VTI Linköping Sverige, pp. 40.
- Århus Amt (2005): Delrapport II. Detailkortlægning. Redegørelse for grundvandsressourcerne i Århus Nord området, pp. 82.
- Århus Kommunale Værker (2001): Beskyttelsesplan for grundvandet i Kastedområdet. Delrapport 2: Plan for grundvandsbeskyttelsesindsatsen, maj 2001.

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB
OG NATURFORVALTNING
KØBENHAVNS UNIVERSITET

ROLIGHEDSVEJ 23
1958 FREDERIKSBERG C

TLF. 3533 1500
WWW.IGN.KU.DK